

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



Estudio para la ampliación del Sistema de Comunicaciones por Satélite DOMSAT hacia Areas Rurales, considerando el uso del Satélite IS-VB del Consorcio INTELSAT

TESIS

Para optar el Título Profesional de INGENIERO
ELECTRONICO

TEODORO VICTOR TORRES MATOS

PROMOCION 1977-2

LIMA-PERÚ

1987

A mi Padre y
a mi Madre

P R O L O G O

Las comunicaciones constituyen una infraestructura esencial para el desarrollo económico y social de las áreas rurales. En la actualidad hay muchas instalaciones de comunicaciones prácticas que pueden ser empleadas para introducir un sistema de telecomunicaciones rural; entre tanto los satélites de comunicación que actualmente han alcanzado una etapa de crecimiento acelerado, tienen características potencialmente bien adaptadas para las aplicaciones rurales. Los sistemas combinados que comprenden estaciones terrenas con enlaces convergentes de UHF/VHF presentan la posibilidad de menor costo que las alternativas solamente terrestres. Se puede decir entonces que los sistemas de comunicación por satélite son en la actualidad un ingrediente obligado dentro de los planes de expansión de las redes de telecomunicación de numerosos países.

El autor queda gratamente reconocido por el estímulo y la tolerancia de muchos profesionales de ENTEL PERU, durante la ejecución del presente estudio. Finalmente, deseo extender mi agradecimiento a Nancy Yábar por la paciencia y ayuda en el tipeado de esta Tesis.

T. Víctor Torres Matos.

C O N T E N I D O

<u>INTRODUCCION</u>	1
<u>CAPITULO I</u> . ESTUDIO DE DEMANDA	19
1.-General	19
2.-Zonificación	19
3.-Demanda Telefonica	25
4.-Tráfico Telefónico de Larga Distancia y Llamadas por- teléfono.	44
5.-Distribución de tráfico.	53
6.-Requerimiento de Circuitos.	55
<u>CAPITULO II</u> . COMPARACION TECNICO-ECONOMICA DE SISTEMAS DE RADIO TERRESTRES Y SATELITALES.	59
<u>A- COMPARACION TECNICA.</u>	
<u>A1.-Sistemas de Radio Terrestres</u>	59
1.-Introducción	59
2.-Consideraciones Generales	59
3.-Enlaces de Radio Multiplex VHF/UHF usados para pequeña- capacidad de transmisión	74
4.-Sistema UHF/PCM.	79
5.-Diseño de enlace de radio VHF/UHF.	82
6.-Aplicación	93
<u>A2.-Sistemas Satelitales.</u>	100
1.-Constitución de un sistema de Comunicaciones por satéli- tes y Servicios principales.	100
2.-Comportamiento de los circuitos establecidos mediante en- laces por Satélite.	101
3.-Características y parámetros principales en los sistemas de comunicacion por Satélite.	110
4.-Cálculos de la capacidad potencial SCPC de un Transponde dor del Satélite IS-VB modificado.	152
5.-Consideraciones de aplicacion del sistema DAMA para tele- fonia rural.	172

6.-Características del enlace para transmisión de Televisión a través del haz spot del IS-VB.	189
7.-Consideraciones sobre la distribución de TV.	199
 B. COMPARACION ECONOMICA	
1.-Introducción	203
2.-Metodología de comparación económica para pequeños grupos de circuitos.	204
3.-Parámetros de potencia y rendimiento económico óptimo para los sistemas de comunicación por satélite.	212
4.-Costos de transmisión de los sistemas de baja capacidad con el IS-VB usando SCPC/CFM con DAMA y E.T con $\phi = 6$ mts.	230
5.-Costos de transmisión de los sistemas de radio relevo terrestres.	230
6.-Resultados de la comparación.	237
 <u>CAPITULO III . DISEÑO DEL SISTEMA</u>	 239
1.-Introducción	239
2.-Revisión de los medios de transmisión de L.D. en operación y proyectados.	240
3.-Selección de las Localidades para ser atendidas por E.T.	241
4.-Programa de Ampliación.	245
5.-Alternativa de configuración de la Red DOMSAT para el programa de ampliación.	247
 <u>CONCLUSIONES</u>	 250
 REFERENCIAS	 251
Anexo 1 .Diagrama esquemático de la red de Larga Distancia	256
Anexo 2 .Plan de transmisión y Conmutación rural	281
Anexo 3 .Distribución de Tráfico.	284
Anexo 4 .Requerimiento de circuitos.	292
Anexo 5 .Resumen de circuitos por Centros Secundarios.	300
Anexo 6 .Circuitos para las localidades - ETAPA I	301
Anexo 7 .Circuitos para las localidades - ETAPA II	302

INTRODUCCION

A.- GENERAL

La evolución tecnológica de los sistemas de satélite es fundamentalmente explosiva, y esta influyendo considerablemente en el proceso de desarrollo socio-económico de las naciones que utilizan este sistema.

En los últimos años se ha evidenciado una impresionante lista de acontecimientos en investigación y desarrollo de la tecnología de comunicaciones por satélite, y cientos de experimentos han explorado con resultados positivos la aplicación de esta tecnología en el área de los servicios públicos, apoyo a los sistemas de salubridad, apoyo a los planes de desarrollo socio-económico de comunidades remotas y en la administración gubernamental.

La conyuntura formada por estos adelantos tecnológicos y por la posibilidad de su utilización, exige la necesidad de estudiar la expansión del sistema de comunicaciones por satélite con el objetivo de lograr un grado de penetración aceptable a la demanda existente y pronosticada de los servicios esenciales (Telf., Tv., etc.), que la actual infraestructura de telecomunicaciones no puede atender por su estado de insuficiencia, especialmente en las áreas rurales.

Para estudiar la expansión del sistema de comunicaciones por satélite (Domsat), actualmente existe el siguiente panorama respecto a segmento espacial en América Latina:

SISTEMA CONDOR.-Hace varios años los cinco países que integran el Grupo Andino vienen proponiendo un proyecto de satélites para satisfacer las necesidades de segmento espacial. Con este fin comisionaron a ASETA

(Asociación de Empresas Estatales de la sub-región Andina), para los estudios preliminares. El proyecto estuvo prácticamente suspendido hasta 1982 debido a la existencia del proyecto SATCOL (satélite Colombiano); en ese año Colombia renovó su apoyo al proyecto CONDOR. En 1985 ASETA procedió a notificar al UIT sobre las características de tres satélites, e inició las coordinaciones para el registro de la posición orbital de los satélites.

INTELSAT.- Ofrece alquiler de transpondedores (TXP) para usos nacionales en su capacidad de reserva. La capacidad disponible para alquiler se ha ofrecido tradicionalmente en haces globales o hemisféricos y puesto que estos haces están concebidos para una conexión internacional amplia los pícs son bajos en relación a los pícs de satélites nacionales. Pero recientemente INTELSAT ha anunciado que los satélites IS - VA (F - 13,14,15) han sido reconfigurados para proporcionar cuatro txp's de haz pincel de 36 MHz. y un txp de 72 MHz. para la implantación de "servicio nacionales planificados" en la región Andina. Estos txp's ofrecen 6.5 db mas de potencia que los haces hemisféricos actualmente disponibles, sin embargo el enlace ascendente se proporciona en un haz global de baja sensibilidad.

El uso del segmento espacial de INTELSAT ha sido tradicionalmente una forma fácil de afrontar los problemas de expansión en vista de su gran cantidad de reserva y por aspectos operativos tales como: experiencia, confiabilidad, asistencia técnica, etc.; si embargo las desventajas del segmento espacial de Intelsat son bien conocidas. Si bien la introducción en alquiler de haces pincel ofrecerá mayor potencia, hay que tener presente que para la región Andina solo habrá disponible cuatro txp's; esta cantidad probablemente no permitirá poner atención a la demanda de txp's de esta región. Por tanto cualquier empleo provisio-

nal de Intelsat significaría el tener que seguir utilizando haces hemisféricos alquilados.

BRASILSAT.- Lanzó el 8 de febrero de 1985 su primer satélite el SBTS-A1 a una posición orbital de 290°E y acaba de lanzar el SBTS-A2 a la posición orbital de 295°E . En el presente año la demanda de servicios nacionales del Brasil esta siendo atendida con la tercera parte de la capacidad del SBTS-A1 (24 tpx), quedando el resto para la ampliación del sistema Brasileño y también para alquilar o vender capacidad a los países sudamericanos. El pire disponible del haz de polarización lineal para el caso del Perú es entre 27 a 34 dbw.

PANAMSAT.- PAN AMERICAN SATELLITE CORPORATION ha anunciado el lanzamiento de un satélite RCA-ASTRO-3000 a una posición orbital 315°E dentro del primer trimestre de 1987. Utilizará su haz pincel occidental de alta potencia (36 dbw al borde de la cobertura) para atender fácilmente las necesidades de segmento espacial de los países andinos.

Es conveniente señalar en este punto que las características del segmento espacial tienen una gran influencia en el dimensionamiento y los costos de las estaciones terrenas; así las condiciones del Brasil sat y Panamsat permiten utilizar estaciones terrenas más simples mediante el uso de la polarización lineal y transmisores de menor potencia, en cambio Intelsat requiere de E.T más complejas.

Para la planificación de la ampliación de la red de telecomunicaciones y particularmente del sistema de satélite, se requiere principalmente coordinar con otros sectores respecto a la provisión de servicios, con la finalidad de hacer uso óptimo de las ventajas de esta tecnología. Esto se pone de manifiesto en los resultados preliminares de la experiencia del proyecto piloto de servicio de comunicaciones rurales (PCR) Entel - A.I.D.

Una vez definida la misión que debe cumplir la infraestructura de telecomunicaciones en el desarrollo económico y social del país, surge una serie de preguntas que es necesario contestar para realizar diseños óptimos en términos de menor costo y mayor rendimiento. Entre ellas está la del tipo de tecnología a utilizar, teniendo en cuenta las tendencias en el tipo de demanda de servicios y la situación actual del mercado de oferta de equipos y sistemas.

El análisis presentado aquí se concentra en este punto y en la optimización de la red respecto al asunto de la competición vs. complementariedad entre los sistemas de satélite y las facilidades terrestres (O.P, VHF/UHF, M/O, etc.). Para el efecto se ha decidido utilizar las facilidades ofrecidas por el consorcio INTELSAT a través del haz pincel del IS - VB, basado en consideraciones relacionadas con la configuración de la red de comunicaciones via satélite ya implantado y a sus planes de expansión.

B. PLANIFICACION DE REDES DE LARGA DISTANCIA PARA AREAS RURALES

La planificación de redes de telecomunicaciones en regiones rurales difiere considerablemente de la de zonas urbanas. Las compañías de telecomunicaciones en los países industrializados suelen aplicar métodos muy complejos que requieren de gran número de cifras correctas de información estadística para predecir la tendencia de la demanda y así estimar los requerimientos de redes y equipos para períodos que cubren 10 a 20 años, teniendo en cuenta aspectos financieros y cambios tecnológicos que juegan un papel importante en el proceso de toma de decisiones. Los métodos de planificación utilizados, tratan exclusivamente con áreas urbanas o rurales de alto ingreso, en tanto que en los países en desarrollo, que cuentan con áreas rurales de bajo ingreso, los métodos para predecir la demanda requieren de una aproximación especial ya que la demanda en el sentido normal es muy baja.

Telefonía Rural

Tradicionalmente el término rural significa áreas fuera de las urbanas; en telecomunicaciones, el término rural se refiere generalmente a situaciones donde diversos factores interactúan para dificultar el establecimiento de servicios de telecomunicaciones.

Esto puede ser atribuido a un número de razones, tales como:

- escasa población
- condiciones topográficas adversas
- condiciones económicas no estimulantes
- limitaciones climatológicas

De acuerdo con el CCITT GAS3 (grupo de trabajo sobre comunicaciones rurales) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), tele comunicaciones rurales, significan telecomunicaciones para poblaciones dispersas que tengan una o más de las siguientes características:

- escasez de fuentes de energía primaria
- ausencia de personal técnico suficientemente clasificado
- condiciones topográficas (como lagos, desiertos, áreas montañosas o cubiertas de nieve) que impiden la instalación de líneas convencionales de transmisión.
- trópico, subtropical y otras condiciones climatológicas que someten los equipos a condiciones muy severas, afectando su durabilidad y mantenimiento.
- limitaciones económicas que dificulten la amortización del costo de las instalaciones y la efectividad del servicio, especialmente si se considera el alto costo de construcción y el bajo nivel económico de los usuarios.

Fuera de los motivos económicos, existe también el motivo social y político para suministrar servicios de telecomunicaciones a las áreas rurales conectando las comunidades rurales a los centros poblados y ciudades de la nación.

Históricamente, el crecimiento de las comunicaciones rurales ha sido dificultado principalmente por la gran inversión de capital necesaria para las instalaciones en áreas no rentables y porque los costos del suministro de servicios de telecomunicaciones han sido mayores, debido a las grandes distancias existentes.

Entre tanto, la demanda puede ser suficiente para que la inversión sea económicamente viable como inversión a largo plazo, si se lleva en cuenta el servicio social y el potencial de desarrollo económico. Esto tiene mayor probabilidad de ser real si existe la posibilidad tecnológica de suministrar el servicio a un costo menor que el convencional de los sistemas de comunicación terrestre.

Características de Equipos para Telefonía Rural

Es generalmente reconocida la importancia de proporcionar comunicaciones de confianza a las áreas rurales, por tanto atendiendo este criterio se determina que los equipos utilizados en telefonía rural deben tener las siguientes características:

- Equipos compactos y de fácil instalación
- Alto grado de confiabilidad en la operación (MTBF alto) y con tiempo de vida técnico al menos de 20 años.
- Deben tener facilidades para aumentar su capacidad en el caso de que aumenten el número de extensiones y el tráfico, sin desusar los equipos instalados y pueden ser equipados posteriormente con facilidades de telex.
- Equipos sencillos que permitan su mantenimiento con personal relativamente poco especializado y con facilidades de monitoreo remoto.

- Bajo consumo, acondicionado para trabajar con fuentes de energía solar, protegidas contra el polvo, humedad y tropicalizados.
- Características de transmisión aproximadamente idéntica a otros tipos de sistemas utilizados, a fin de que sean intercambiables.

Principales medios de transmisión utilizados en Areas rurales.-

Analizaremos los principales medios de transmisión utilizados para el servicio telefónico de áreas rurales, identificando las características básicas de los sistemas más importantes:

Para efecto de un análisis conviene clasificar los medios de transmisión en:

- Líneas físicas
 - . cable de pares
 - . línea abierta
 - . línea de alta tensión
 - Sistema de Radio
- } líneas bifilares

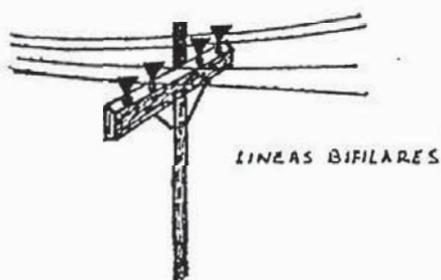
Líneas abiertas

Son líneas aéreas (instaladas en postes) donde se utilizan los conductores (sin aislamiento eléctrico) cuya distancia entre sí es mucho mayor que su diámetro.

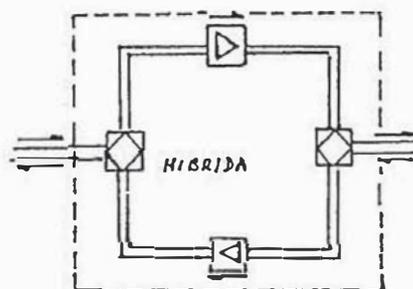
La atenuación introducida por las líneas abiertas es mucho menor que la correspondiente a los sistemas de cables de pares, principalmente por el mayor diámetro de los conductores usados en las líneas (i.e. 2.9 mm de \emptyset , en cuanto los conductores de cables tienen diámetros

variables de 1.2 a 2.0 mm) y el espaciamento entre estos (del orden de 28 cms. para diámetros de 2.9 mm). En compensación, debido al mayor empleo de materia prima (normalmente cobre) el costo por canal es mayor en las líneas abiertas que en los cables de pares.

Las líneas abiertas pueden ser utilizadas para enlaces bidireccionales, cubriendo distancias del orden de 100 Kms. sin uso de repetidoras, o distancias mayores (normalmente hasta 400 Kms.) con repetidoras típicamente espaciadas de 100 Kms. La transmisión puede ser hecha a 2 ó 4 hilos siendo que en el primer caso son utilizados dispositivos híbridos (de funcionamiento semejante al existente en el teléfono) para separar la transmisión en cada sentido en las repetidoras conforme ilustra la siguiente figura:



LÍNEA ABIERTA



REPETIDORA A 2 HILOS

Los sistemas de líneas abiertas tanto a 2 como a 4 hilos son montados sobre aisladores fijados en los postes. Estos aisladores además de garantizar la fijación y el aislamiento garantizan también el espaciamento entre los hilos de cada par. A través de una misma red de postes se puede pasar varios sistemas de línea abierta con una mayor separación entre líneas.

Los sistemas en línea abierta están sujetos a la intemperie, esto es sus características físicas están expuestas a las variaciones de temperatura y humedad. Además de esto es común el robo de líneas por ser el cobre un material bastante valioso, en tanto que los postes tienen una vida media de entre 30 a 40 años (postes de eucalipto). Existe también el inconveniente de riesgo a la caída de árboles sobre los hilos provocando degradación o la interrupción de las transmisiones.

Las líneas abiertas son normalmente utilizadas en regiones muy montañosas y accidentadas donde un enlace de radio por ejemplo exigiría el uso de muchos repetidores, en virtud de la obstrucción de la onda de radio por el terreno.

Normalmente la capacidad de estos sistemas en términos de canales es del orden de 12 a 24 canales de voz multiplexados. En este caso el sistema de transmisión se denomina de Ondas Portadoras.

Sistemas de Radio.

En el análisis de los sistemas de radio es interesante tener presente inicialmente la clasificación de los mismos según la banda de frecuencia de operación.

. Sistemas de Radio en HF

Fueron los primeros sistemas en ser utilizados; constituyen sistemas de propagación por refracción ionosférica.

Las comunicaciones ofrecidas son de baja confiabilidad debido a problemas de propagación.

. Sistemas de Radio VHF, UHF

Son sistemas de propagación en visibilidad pues en esa banda de frecuencias, las antenas utilizadas permiten focalizar las ondas de modo de minimizar la influencia del terreno en la energía propagada.

Se utiliza también el fenómeno de difracción, estableciendo enlaces donde existen obstrucciones en la línea de vista.

Estos sistemas son en general utilizados con media capacidad, típicamente hasta 60 canales de voz. Son normalmente empleados para comunicaciones a media distancia usando pocas repetidoras (de 2 a 4). Presentan confiabilidad elevada con respecto a los sistemas de HF siendo de más fácil operación, más conforme citamos poseen menos alcance.

. Sistemas de Radio en SHF

Estos son sistemas de radio de mayor aplicación en las comunicaciones de larga distancia. Utilizan típicamente la banda de 2 a 15 GHz existiendo enlaces especiales en 20 GHz.

En esta frecuencia la focalización de las ondas es hecha en ejes muy estrechos lo que permite la utilización de transmisores de más baja potencia (600 mw a 12 w) y alta calidad de la señal recibida.

Son sistemas de alta capacidad atendiendo hasta 2700 canales de voz, siendo también utilizados para transmisiones a larga distancia de señales de televisión a color.

La alta calidad de transmisión y confiabilidad exige estaciones repetidoras distanciadas de 50 a 60 Kms. típicamente que se sitúan normalmente próximas a las ciudades, para mayor facilidad de mantenimiento y obtención de energía eléctrica comercial.

Ventajas potenciales de desarrollo a través de satélites de comunicación.

El uso creciente de satélites en las telecomunicaciones rurales proviene tanto de las ventajas técnico-económicas como de las características esencialmente favorables para las aplicaciones rurales.

Las características principales de aplicación de los sistemas por satélite en la planificación de las instalaciones rurales, pueden resumirse como sigue:

- a. Los costos por circuito son independientes de la distancia. El costo de servir localidades remotas es igual al de servir las más cercanas. El mayor corolario de esta característica es que se puede instalar capacidad de comunicación por orden de prioridad de necesidades, independientemente de la localización. Esta total flexibilidad de la localización puede ser importante al plantear instalaciones de comunicación para las necesidades específicas de los proyectos de desarrollo rural.
- b. Los sistemas por satélite son de más confianza, más resistentes y fáciles de mantener que los terrestres ya que las estaciones quedarán localizadas más cerca de los poblados que deberán servir y serán más accesibles para el mantenimiento y reparaciones que las repetidoras de los enlaces terrestres. Los satélites permiten alcanzar cualquier punto de la red directamente, por lo tanto, pueden establecerse interconexiones de confianza que dependan solamente de las dos estaciones participantes. Este hecho hace que los satélites sean en general muy resistentes, porque un defecto en cualquier estación terrena afecta so-

lamente una localidad y no tiene un resultado negativo en otras partes de la red.

- c. Un sistema totalmente por satélite es instalado en forma relativamente rápida. El tiempo necesario para la instalación es significativamente más corto que el tiempo necesario para la instalación de una red terrestre que ofrezca servicios idénticos.
- d. Los satélites permiten un grado de flexibilidad en lo que se refiere a capacidad que es imposible de obtener en los sistemas terrestres. Debido a su proyecto, las redes por satélite ofrecen mayor flexibilidad en el direccionamiento del tráfico y la atención de las necesidades de ampliaciones.

Una estación puede ser implementada para suministrar un sólo canal telefónico, usando la técnica de un canal por portadora (SCPC), y puede añadirse capacidad adicional, a medida que la demanda se desenvuelva.

Otros servicios, incluyéndose transmisión de datos, recepción de radio y televisión, pueden ser añadidos a la misma estación de recepción básica, si la demanda lo exige.

Por lo tanto, los sistemas por satélite son particularmente útiles para funcionar en circunstancias en las cuales no existen inicialmente datos de confianza sobre tráfico y sea difícil hacer previsiones.

- e. La emisión de un satélite puede recibir la gran número de estaciones al mismo tiempo; de ahí que son especialmente indicadas para la transmisión (o difusión) de señales unidireccionales, como la radiodifusión sonora o de televisión, destinados a centros de población numerosa y distantes entre sí.

Para la realización de circuitos por satélite se han considerado dos tipos fundamentales:

- Los circuitos con asignación propia
- Los circuitos con asignación en función de la demanda (DAMA)

Con el sistema DAMA no hay necesidad de dedicar capacidad del sa télite a cada estación rural.

Cuando sea necesario, puede seleccionarse un circuito que no esté siendo usado desde una reserva común (pool) de circuitos de propósito general. Usando circuitos de conferencia simplex y equipo SCPC-DAMA de ruta fina, el costo del segmento espacial se pue de reducir significativamente.

- f. La instalación de una Estación Terrena en una localidad no paraliza la configuración de la red, más deja libre la opción de interconectar dicha Estación a una red terrestre; cuando sea necesario, una estación puede ser reubicada fácilmente si la localidad es enlazada a una red terrestre. Por tanto los sistemas de sa télite pueden ser considerados como un complemento para los sis temas terrestres.

Aún cuando los costos por circuito en el satélite, el tamaño y el cos to de las estaciones terrenas han disminuido rápidamente en los últi mos años, en la mayoría de los casos continuará siendo anti-económica, a menos que las localidades a servir generen un gran tráfico y estén separadas por superficies montañosas o por distancias considerables.

La solución de costo menor es un sistema híbrido, que combina la tecnología del satélite con la terrestre.

Integración

La red general de telecomunicaciones entre puntos fijos, se ha venido construyendo progresivamente. Empezó con líneas de hilo desnudo y luego se añadieron los cables terrestres (subterráneos y aéreos). La técnica de corrientes portadores permitió constituir sistemas de gran capacidad que proporcionaron un gran número de circuitos telefónicos o como en el caso de los cables coaxiales, que permiten transmitir señales de televisión.

Más tarde, los sistemas radio eléctricos llegaron a tener una calidad equivalente a la de los sistemas de cable.

Así se ha podido constituir una red realmente integrada, es decir en la que se pueden usar diversos sistemas para todos los servicios con una gran flexibilidad y casi sin restricciones.

A poco de implantarse los satélites de comunicación se buscó la manera de integrarlos en la red existente en razón a su clara ventaja sobre los sistemas terrestres, especialmente en servicios específicos como la telefonía rural y la televisión.

A este punto debe quedar bien sentado que el objetivo de la integración no consiste en utilizar cualquier sistema en cualesquiera circunstancia.

Si se desea que los circuitos establecidos con diversos tipos de sistemas sean intercambiables es, antes que nada, para poder prever en la planificación la construcción de los sistemas más económicos y mejor adaptados a las condiciones locales de empleo en cada caso, y después para simplificar la explotación de los circuitos una vez establecidos.

Elementos de Planificación para la expansión del Sistema Doméstico

Un aspecto muy importante que se debe tener en cuenta en la planificación es el hecho de que las telecomunicaciones por satélite entre puntos fijos no van a sustituir sino a complementar las instalaciones terrenas. Fig. 1

Al decidir donde colocar las terminales de satélite se tendrá en cuenta las ventajas desde el punto de vista económico frente a alternativas terrestres con respecto a distancia, capacidad y servicios. Se considerará cuidadosamente el estado actual y futuro de los sistemas terrestres. Será necesario hacer un examen preciso del desempeño y los costos de los enlaces terrestres; determinar si se cumplen los criterios de fiabilidad y calidad de los canales y si será posible lograr en el futuro el desempeño deseado. El análisis de costo abarcará los gastos de inversión de capital y gastos de operación y mantenimiento.

Al igual que en el caso de los sistemas terrestres se estudiará los antecedentes de los sistemas nacionales por satélite existente y examinar los costos de adquisición de equipos, los gastos de operación y mantenimiento de las estaciones terrenas.

Es bien conocido que los enlaces por satélite tienen ciertas ventajas sobre los enlaces terrestres y por ello, en la distribución de servicios, habrá que utilizar estas ventajas para satisfacer las prioridades nacionales.

En la Figura 2 se muestra un diagrama de flujo del proceso de planificación seguido en este estudio.

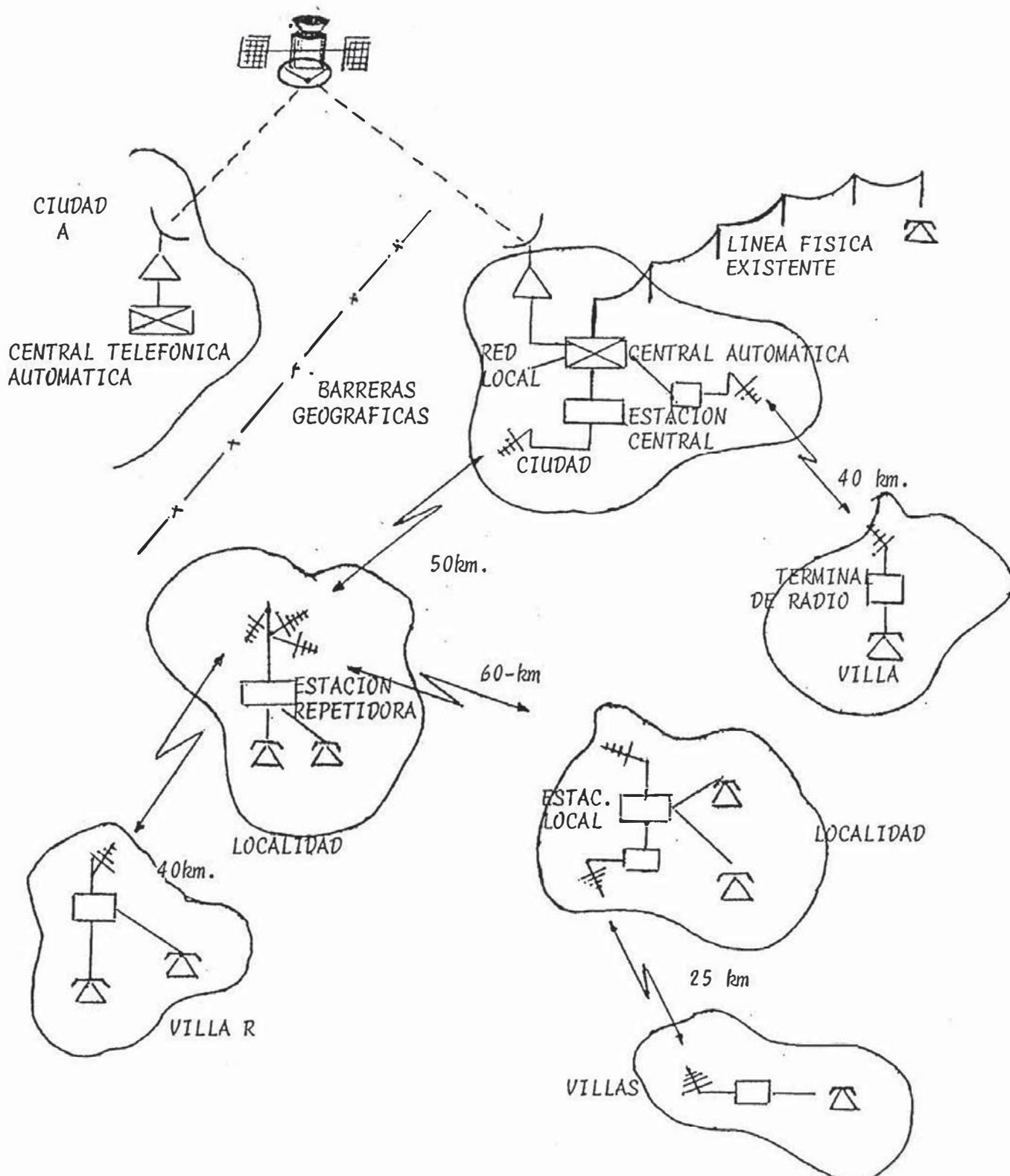


FIG. 1 - ESQUEMA DE UN SISTEMA HIBRIDO ACTUAL

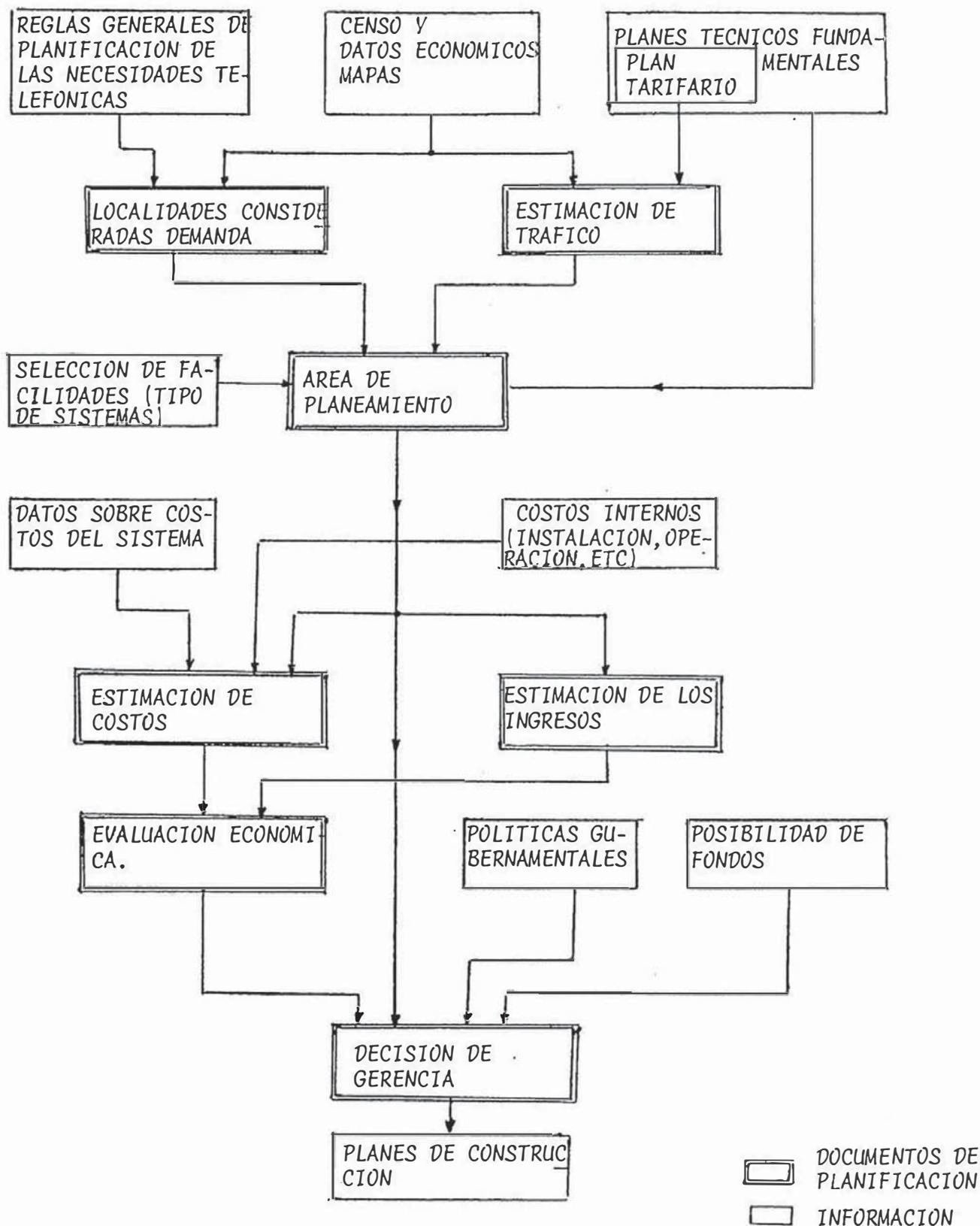


FIG. 2 - DIAGRAMA DEL PROCESO DE PLANIFICACION DE COMUNICACIONES RURALES.

CAPITULO I

ESTUDIO DE DEMANDA

1.- GENERAL

Dentro del proceso de planificación de una red de telecomunicaciones, surgen tres aspectos de gran importancia a ser considerados: demanda telefónica, tráfico de larga distancia y la configuración de la red para la prestación del mismo.

El análisis de la demanda juega papel preponderante en la determinación de la configuración y el dimensionamiento de la red que es necesario proveer para garantizar el adecuado manejo del tráfico entre las diferentes fuentes y sumideros de la red, según las condiciones que hayan sido preestablecidas.

En este capítulo se desarrolla una metodología similar para estimar tanto la demanda telefónica como el tráfico de larga distancia, basado en una relación que combina índices de desarrollo económico (ingreso-per-cápita), densidad telefónica y área geográfica. Sus proyecciones se han establecido de acuerdo a la tendencia mundial. Esta metodología ha sido recomendada por el CCITT para países con características similares de desarrollo al nuestro.

2. ZONIFICACION

La zonificación del área rural del país obedece a la necesidad de determinar unidades geográficas (zonas), constituidas por un conjunto de poblaciones y comunidades que por su ubicación, clima, productos y desarrollo son afines y por lo mismo, tienen necesidades similares de servicio. Según el estado de desarrollo telefónico en las diferentes regiones del país, la zonificación facilitará lo siguiente:

- a) La asignación de prioridades para el desarrollo del Programa de expansión telefónica rural. Estas prioridades se asignarán de acuerdo con la urgencia de contar con este servicio, en zonas donde se desarrollan otros programas rurales.
- b) La aplicación de criterios particulares para el desarrollo de la telefonía rural en cada una, de acuerdo con su adelanto y perspectiva de crecimiento.
- c) La identificación del centro urbano de primer orden en la zona (centro zonal) facilitará la concentración de fuerzas para el establecimiento de un núcleo de desarrollo telefónico de este centro, que será la base para la mejora de los servicios de los Municipios y las comunidades rurales de su área de influencia.
- d) Con la definición de centro zonal será posible establecer los requerimientos de líneas telefónicas para el programa de telefonía rural.

Regiones Naturales del País.

Como punto de partida para la zonificación se toman las regiones naturales en las cuales está dividido el país, así:

Región Norte	Región Centro
Región Sur	Región Nor-Oriente

Las diferencias que existen entre las regiones están relacionadas con la topografía y el clima esencialmente. Estas dos variables generan una serie de características propias de cada región en el carácter de sus pobladores, distribución de la propiedad, ocupación de la mano de obra y tipos de productos básicos.

El conjunto de estas características básicas generales ocasionan diferencias de desarrollo económico y social en cada región.

Las diferencias pueden materializarse en el hecho de que, en términos generales, el ingreso per cápita de los habitantes de la región central es mayor del correspondiente a los habitantes de las otras regiones y por lo mismo constituye la región de mayor desarrollo del país.

Adicionalmente es posible establecer que aún dentro de una región existen diferencias de ingreso entre los habitantes de los departamentos que lo conforman de acuerdo con la actividad predominante en cada caso (manufacturas, agroindustrias, mecanización de la agricultura, etc.) (Cuadro Nº 1).

En un marco de desarrollo regional de características tan diferentes, no sería apropiado aplicar un criterio uniforme de servicio telefónico a todas las regiones del país, pero desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos generales de la Empresa

CUADRO 1

PRODUCTO BRUTO INTERNO POR DEPARTAMENTOS

1971 - 1981

	Pob.	PBI- DP	PBI/ Activ Import.	PBI/ Hab	PD- PBI Agr	PD- PBI Min	PD- PBI Man
Tumbes	103,974	0.2	Agr.	Y	0.6	---	0.1
Piura	1'168,442	4.5	Min.	Y	7.4	13.1	2.4
Lambayeque	683,425	2.7	Man	Y	4.0	0.1	2
La Libertad	960,537	3.8	Man.	Y	5.6	1.3	4.7
Ancash	815,646	2.4	Man	Y	4.7	1.9	2.3
Lima	5'184,996	57.1	Man	X	17.8	8.4	68.9
Ica	431,442	2.4	Agr.	Y	4.3	6.1	0.9
Arequipa	702,308	4.0	Man.	Y	6.3	4.4	3.1
Moquegua	99,207	2.3	Min.	X	0.7	15.0	3.1
Tacna	133,240	1.7	Min.	X	1.7	14.2	0.2
Cajamarca	1'044,689	2.0	Agr.	Z	8.4	1.5	0.9
Amazonas	265,460	0.6	Agr.	Y	2.7	--	0.2
San Martín	319,670	0.8	Agr.	Y	2.8	--	0.3
Loreto	446,316	2.8	Agr.	Y	7.3	4.0	1.0
Huánuco	481,924	1.2	Agr.	Y	3.2	3.6	0.5
Pasco	221,219	1.2	Min.	Y	1.7	10.3	0.2
Junín	848,993	4.6	Man.	Y	6.7	8.2	6.1
Ucayali	200,085	---	Agr.	Y	---	---	---
Huancavelica	346,460	0.9	Min.	Y	1.8	5.1	0.2
Ayacucho	500,732	0.8	Agr.	Z	3.2	0.4	0.4
Apurímac	321,936	0.5	Agr.	Z	2.1	---	0.2
Cusco	829,294	1.8	Agr.	Y	3.6	0.3	1.3
M. de Dios	36,559	0.1	Agr.	Y	0.3	---	0.0
Puno	893,586	1.5	Agr.	Z	3.1	1.1	0.8

DP Distribución Porcentual
 PD Participación Departamental
 Agr. Agricultura
 Man Manufactura
 Min. Minería
 PBI/Hab X = Más de 30,000
 Y = Entre 10,000-30,000
 Z = Menos 10,000

Fuente: Instituto Nacional de Estadística - Junio de 1983.

para telefonía rural, todas las regiones deben ser consideradas en pie de igualdad.

Definición de Zonas .

Para la definición de las zonas en cada región se considera la configuración de zonas sustentada por la Oficina de Planificación que involucra a las centrales primarias y secundarias dentro de una estructura jerárquica de la red nacional y la zonificación establecida por otros programas de gobierno en el área rural (Programa de desarrollo microregional, PDM). Estas unidades geográficas o zonas están formadas por un conjunto de poblaciones y comunidades que son afines por su ubicación, clima, productos, desarrollo y aún por su costumbre. En cada una de estas zonas hay un centro urbano que canaliza y dirige toda la actividad cultural, administrativa y comercial y se le asignan las funciones de concentración telefónica para la zona (centro zonal).

La zonificación propuesta para el programa de desarrollo de expansión telefónica rural, cubre todo el territorio del país y comprende de 18 zonas con un número igual de centros zonales.

REGION CENTRO:

Zona Lima: Lima ENTEL, Huaral, Cañete

Zona Lima - CPT (Lima urbana)

Zona Huancayo: Huancayo, Ayacucho, Tarma, Huancavelica, La Oroya.

Zona Huacho: Huacho, Barranca

Zona Ica: Ica, Nazca, Marcona

REGION SUR

Zona Arequipa: Arequipa, Mollendo, Camaná

Zona Cuzco: Cuzco, Andahuaylas, Abancay, Puerto Maldonado

Zona Tacna: Tacna, Moquegua, Ilo

Zona Juliaca: Puno, Azángaro

REGION NOR-ORIENTE

Zona Iquitos: Iquitos, Requena.

Zona Pucallpa: Pucallpa, Contamana.

REGION NORTE:

Zona Trujillo: Trujillo, Cajamarca, Chepén, Pacasmayo.

Zona Chiclayo: Chiclayo, Lambayeque, Chachapoyas, Jaén.

Zona Huaráz: Huaraz

Zona Piura: Piura, Tumbes, Sullana, Talara.

Zona Chimbote: Chimbote

Zona Tarapoto: Tarapoto, Moyobamba, Yurimaguas, Juanjuí.

Zona Huánuco: Huánuco, Tingo María, Ch Pasco

3. DEMANDA TELEFONICA

La determinación de las densidades telefónicas apropiadas para cada zona, constituye el parámetro básico para la programación de los sistemas de telecomunicaciones de los mismos.

Para predecir las futuras necesidades telefónicas hay métodos que requieren de cifras correctas de información estadística que no son recomendables en el caso del Perú por tener una situación cuasi estacionaria del servicio telefónico (Ver Fig. 1).

Existen otros métodos para estimar la densidad telefónica que se han aplicado en otros países con características similares de desarrollo y que combinan índices de desarrollo económico (ingreso-per-cápita), densidad telefónica promedio del país y tasa de crecimiento demográfico, que pueden tomarse como guía para adoptar límites apropiados. En el presente estudio se desarrolla este método recomendado por el CCITT que es útil dentro de sus limitaciones.

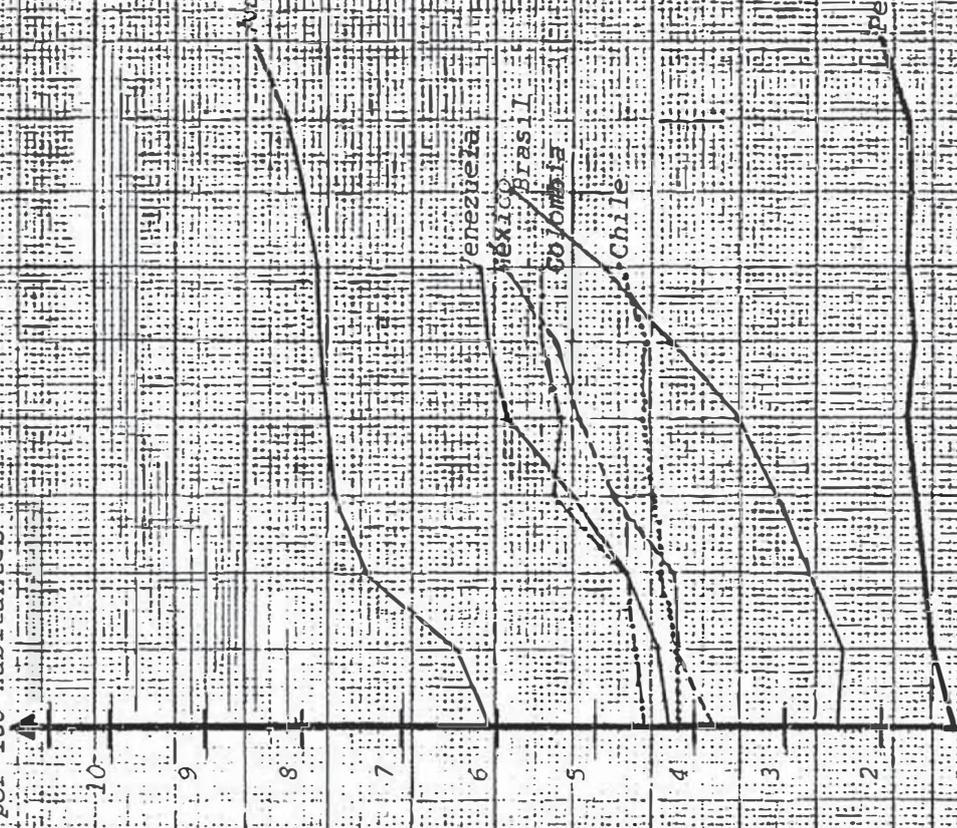
Para determinar la cantidad de líneas telefónicas requeridas en cada zona, se establece una densidad telefónica urbana que se aplica únicamente a las cabeceras municipales y la rural a las partes puramente rurales de los municipios.

PROGRAMA

FECHA

FEIGUR A N°
PENDIDAD TELEFONICA

TELÉFONOS
POR 100 HABITANTES



1973 74 75 76 77 78 79 80 81

3.1 Tendencia de la Densidad Telefónica Mundial,-

La Figura 2 muestra la relación entre el ingreso per cápita y la densidad telefónica en varios países indicando las tendencias que pueden hallarse por regresión logarítmica con un buen factor de correlación ($r=0.93$). En este gráfico sólo se han considerado países que han reportado más de un millón de teléfonos, porque éstos ya han alcanzado un equilibrio entre la oferta y la demanda.

La línea recta muestra la tendencia general estimada de 24 naciones incluídas y nos servirá de base para estimar la demanda en el país.

Asimismo se puede observar una posición ampliamente desventajosa del Perú cuando es comparada su densidad telefónica con el ingreso per-cápita (IPC = 604, $q = 1.90$) - 1982.

3.2 Relación PBI per cápita con la Densidad Telefónica.

Se ha visto que tanto la oferta como la demanda telefónica, dependen del progreso técnico y económico de una nación. La demanda telefónica está influenciada por:

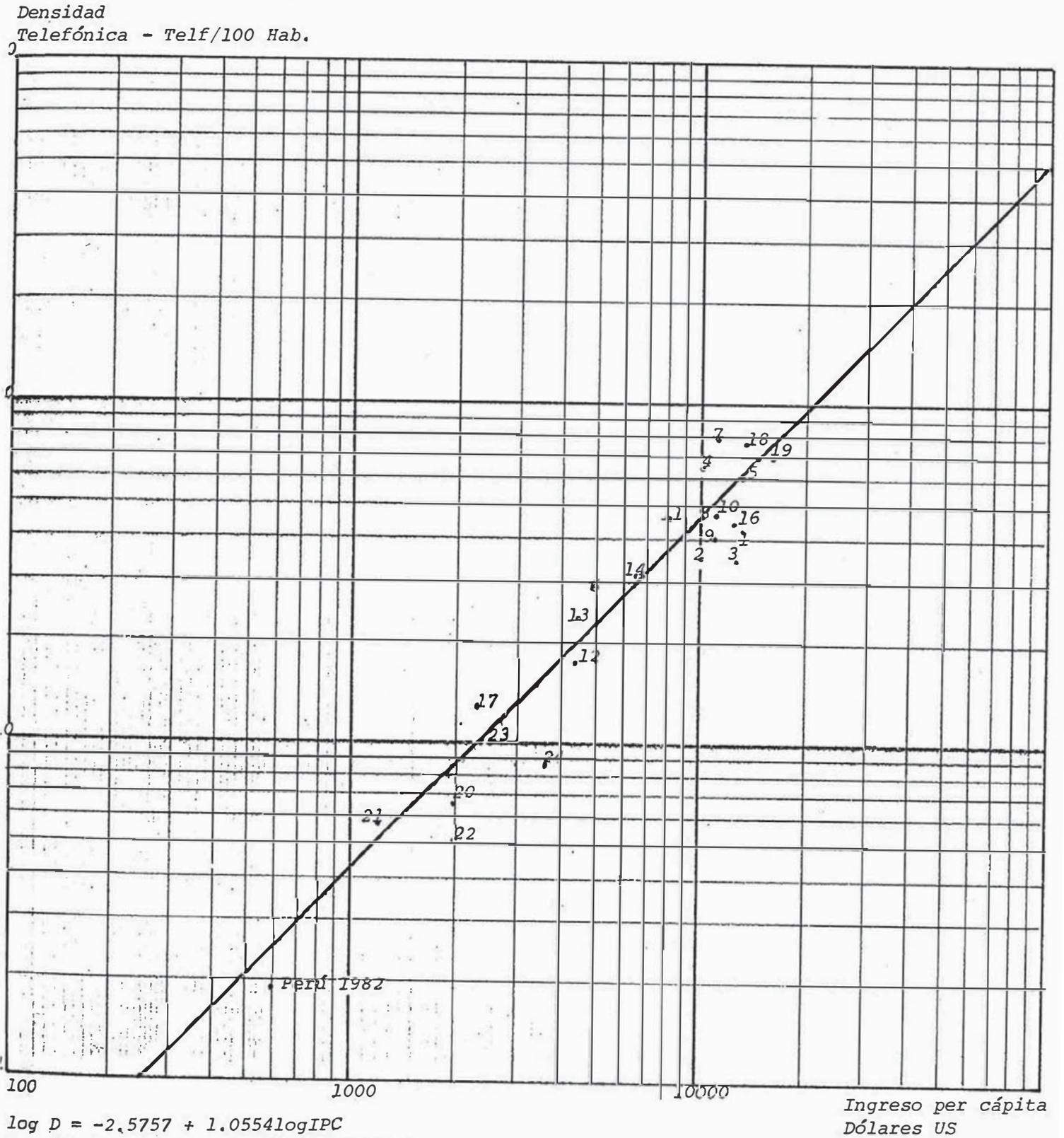
- Ingreso total
- Costumbres y hábitos de la población
- Precios y tarifas.

Estos factores pueden ser expresados en la siguiente forma:

$$Q = F (X, N, P, d)$$

Donde:

EVOLUCION DE LA DENSIDAD TELEFONICA MUNDIAL VS. INGRESO PER CAPITA



Fuentes: The world's telephones - 1980, y Year book of National Accounts Statistics - ONU-80

Q = Número total de aparatos telefónicos principales

X = Una medida de la renta, por ejemplo el Producto Bruto Interno (PBI)

N = Población total

P = Tasas de servicio, ejemplo: tarifas, costos anuales, etc.

d = Factor de tendencia del desarrollo

Esta expresión puede ser reducida a:

$$q_t = f(x, P, d)$$

Donde:

$q_t = Q/N$: Densidad telefónica

$x = X/N$: Ingreso per cápita

Debido a que la mayoría de los países planean su crecimiento económico y publican datos concernientes a sus planes de desarrollo económico en términos del Producto Bruto Interno (PBI), es conveniente relacionar las necesidades a largo plazo de telefonía nacional con el PBI.

La estimación de la ecuación de regresión que relaciona el IPC con la densidad telefónica, puede ser expresado de la forma:

$$\log q_t = \log A + b \log X_t$$

Donde:

q_t = Densidad telefónica en el tiempo t

X_t = PBI per cápita en el tiempo t

A y b son constantes determinadas por el método de los mínimos cuadrados.

La relación entre la densidad telefónica y el PBI per cápita para 24 países en el año de 1980 se halló por regresión logarítmica lineal y se expresa como sigue:

$$\log q_t = -2.5757 + 1.0554 \log X_t$$
$$\text{ó } q_t = 2.6559 \times 10^{-3} (X_t)^{1.0554}$$

Coeficiente de correlación = 0.93639

Esta línea representa un promedio mundial y puede ser usada como estandar para proyectar el crecimiento de las naciones subdesarrolladas.

3.3 Metodología para estimar la densidad telefónica.

En la figura 3 se muestra una línea que representa la tendencia de crecimiento de un país.

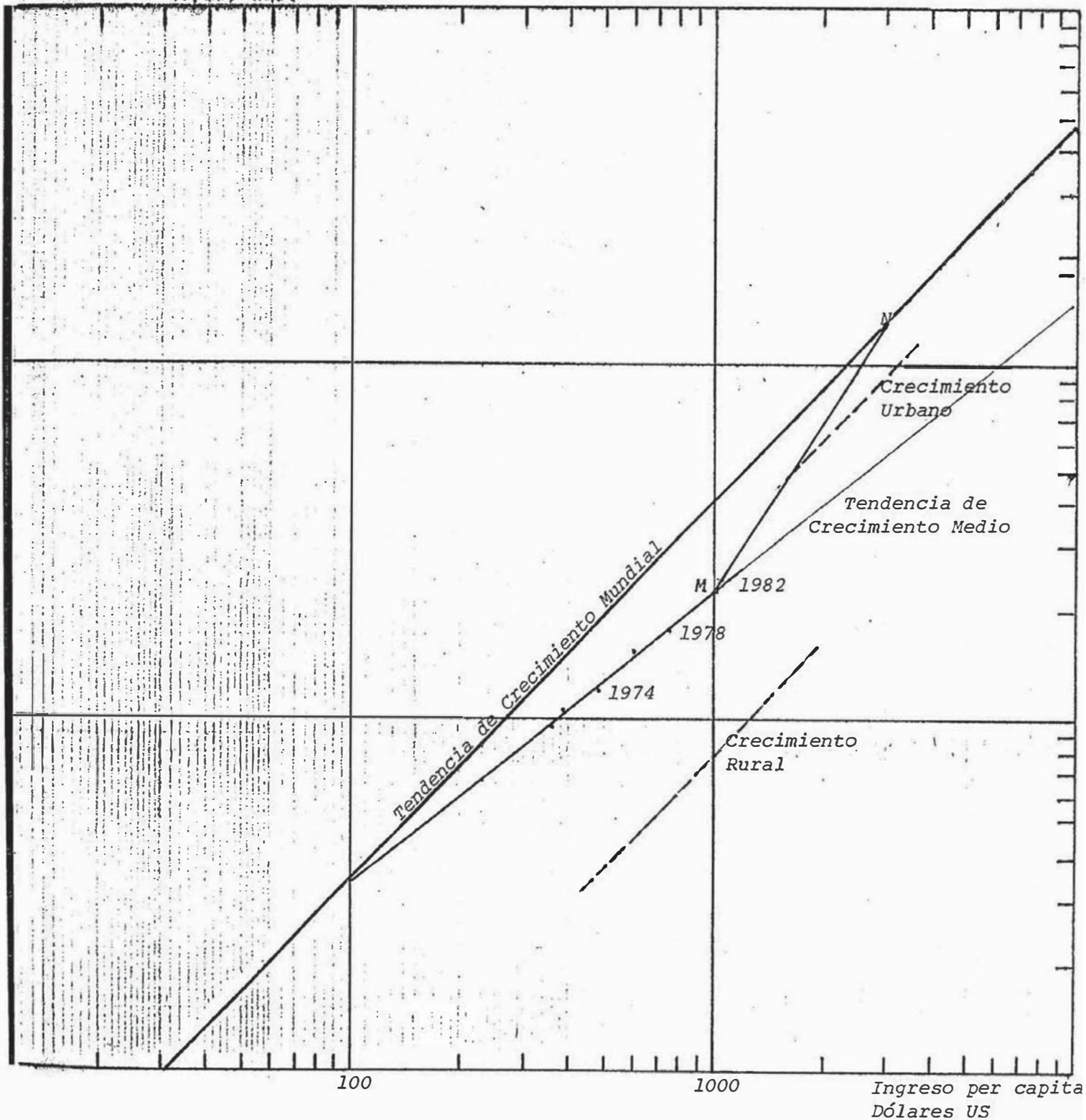
Como se puede ver la tendencia de crecimiento basada en esta línea diverge del promedio mundial a medida que se incrementa el IPC, lo cual significaría que la oferta de teléfonos brindada no satisface la presente demanda y la proyección de crecimiento futuro representa un crecimiento correspondiente a una demanda insatisfecha. Si la expansión futura es cumplida de manera que deja la demanda satisfecha al término del período de estudio, entonces su línea de crecimiento será representada en el gráfico como una línea MN. Aquí M representa la situación existente en el año inicial del estudio (q_t e IPC) y mientras que N es un punto de la línea promedio mundial que corresponde al IPC proyectado para el año final del período de estudio.

Si la decisión de satisfacer la demanda parece demasiado optimista, la línea de crecimiento futuro puede ser tomada paralela a la línea media mundial. De esta manera, una línea paralela al promedio mundial trazada desde M, significará que la demanda insatisfecha permanecerá alejada del promedio mundial en la misma proporción que la existente en la situación inicial.

FIGURA 3

METODOLOGIA PARA LA PROYECCION DEL CRECIMIENTO DE LA
DENSIDAD TELEFONICA

Densidad
Telefónica - Telf/100 Hab.



Para el propósito de este estudio, si no se tiene una alternativa particular, o datos previos sobre el cual basar sus proyecciones, puede ser asumida la línea de crecimiento MN. Para esto se requiere que el valor de la densidad telefónica para el año inicial de estudio sea dado a conocer por el usuario. Si este valor de densidad telefónica no es conocido, se puede proyectar el último valor disponible al año inicial de estudio, ya sea ajustando una línea de crecimiento según la tendencia anterior del país, o dibujando una línea en base a los datos disponibles paralela a la línea media mundial. Si no se disponen de datos anteriores de densidad telefónica, la línea de crecimiento a lo largo del período de estudio puede ser asumida igual a la línea de promedio mundial.

Debido a que esta línea representa la distribución promedio de las densidades telefónicas de todas las naciones en función de su PBI/per cápita, es posible que un país tenga un punto M (densidad telefónica en el año inicial de estudio), encima de la línea media mundial. En tal caso la línea de crecimiento se extiende paralela a la línea media mundial.

3.4 Uso del modelo para la proyección de crecimiento de la densidad telefónica en el Perú:

La ecuación estimada para el Perú, basada en datos estadísticos fue definida por:

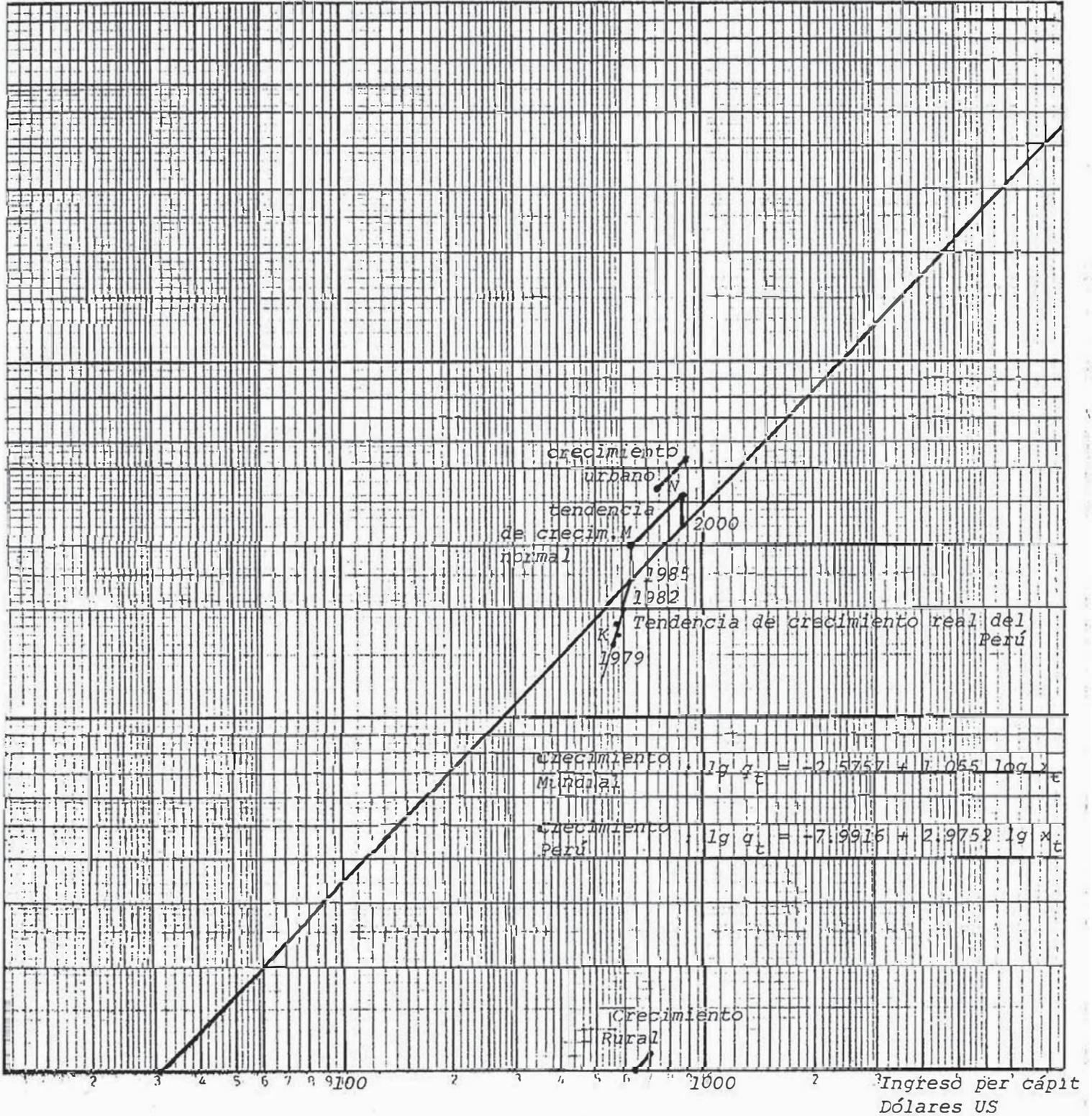
$$\log (q_t) = -7.9916 + 2.9752 \log X_t$$

ó Densidad telefónica = $10.19 \times 10^{-9} (\text{IPC})^{2.975}$ (Fig. - 4)

Para el Perú, sería bastante optimista esperar una tasa similar

METODOLOGIA PARA LA PROYECCION DEL CRECIMIENTO DE LA
DENSIDAD TELEFONICA EN EL PERU

Densidad
Telefónica - Telf/100 Hab.



de crecimiento de la densidad telefónica, especialmente en las áreas rurales. Por lo tanto fue necesario desarrollar una proyección más realista asumiendo las siguientes funciones. Dado que aún en los países más desarrollados, las áreas rurales tienen poco o ningún servicio telefónico, se asume que la mayoría de líneas se encuentran concentradas en los centros urbanos mientras que en las áreas rurales se encuentra un bajísimo número de los mismos. De acuerdo a esto, han sido proyectados con diferentes tendencias de crecimiento las densidades telefónicas de las regiones urbanas y rurales respectivamente. Debido a que las tendencias del país están dirigidas hacia una urbanización total y a la alta tasa de migración rural a urbana, fue tomada como tasa de crecimiento poblacional para zonas rurales, una tasa promedio igual a 0.9% mientras que para las zonas urbanas fue tomado un 3.6%. En promedio se obtuvo una tasa de crecimiento poblacional de 2.6%. El PBI, de acuerdo a la tendencia de crecimiento de los últimos años, fue tomado con un crecimiento porcentual medio de 4.76% para el período de 1983-2000 (Ver Cuadros 2, 3 y 4).

Para el caso del Perú se ha considerado 1985 como año inicial de estudio debido a que se espera que la mayor parte de los objetivos del plan quinquenal de desarrollo de ENTEL PERU y de la CPT serán alcanzados. Esto significa la puesta en operación del siguiente número de líneas:

C U A D R O 2PROYECCION DE LA POBLACION (EN MILES)

	<u>URBANA</u>	<u>RURAL</u>	<u>TOTAL</u>
81	11,086	5,945	17,031
82	11,485	5,948	17,483
83	11,899	6,052	17,951
84	12,327	6,106	18,433
85	12,771	6,161	18,932
86	13,231	6,216	19,447
87	13,707	6,272	19,979
88	14,200	6,329	20,529
89	14,712	6,386	21,098
90	15,241	6,444	21,685
91	15,790	6,501	22,291
92	16,358	6,560	22,918
93	16,948	6,619	23,567
94	17,558	6,679	24,237
95	18,190	6,739	24,929
96	18,845	6,800	25,645
97	19,523	6,861	26,384
98	20,226	6,923	27,149
99	20,954	6,985	27,939
2000	21,708	7,048	28,756
	$T_C=3.6\%$	$T_C=0.9\%$	$T_C=2.6\%$
	$Pob (n) = Pob_0 (1+T_C)^n$		

CUADRO N° 3

PROYECCION DEL PRODUCTO BRUTO INTERNO

Millones de Dólares US

	(PBI)	(PBI)	(PBI)
	-----	URBANO	RURAL
81	10,077	8,062	2,015
82	10,556	8,444	2,111
83	11,057	8,846	2,211
84	11,582	9,266	2,316
85	12,132	9,706	2,426
86	12,709	10,167	2,542
87	13,312	10,650	2,662
88	13,945	11,156	2,789
89	14,607	11,686	2,921
90	15,301	12,241	3,060
91	16,028	12,822	3,206
92	16,789	13,431	3,358
93	17,586	14,069	3,517
94	18,422	14,737	3,685
95	19,297	15,437	3,860
96	20,213	16,171	4,042
97	21,173	16,939	4,234
98	22,179	17,743	4,436
99	23,233	18,586	4,647
2000	24,336	19,469	4,867

$$T_C = 4.75\%$$

$$PBI_U = 0.8 \text{ } PBI_{TOTAL}$$

$$PBI_R = 0.2 \text{ } PBI_{TOTAL}$$

C U A D R O 4

PRODUCTO BRUTO PER CAPITA

(Miles de Dólares)

	(PBI/capita) <u>Promedio</u>	(PBI/capita) <u>Urbano</u>	(PBI/capita) <u>Rural</u>
81	592	727	339
82	604	735	355
83	616	743	365
84	628	752	379
85	641	760	394
86	654	768	409
87	666	777	424
88	679	786	441
89	692	794	457
90	706	803	475
91	719	812	493
92	733	821	512
93	746	830	531
94	760	839	551
95	774	849	572
96	788	858	594
97	802	868	617
98	817	877	640
99	832	887	665
2000	846	897	690

ACTIVIDAD	Nº DE LINEAS	PROYECTO CONCLUIDO	PROYECTO EN EJECUC.
Reubicación Central Albis-Tumbes	2,100	x	
PEX I etapa Centrales Cusco y Tacna	12,500	x	
PEX II etapa Ampliación PRX	68,000		x
Reubicación Central AGF	13,700		x
Centrales Móviles	10,000		x
T O T A L 106,300			

	EXIST A 1981		PERIODO 82 - 85	
CPT	230,400	+	150,000	380,400
ENTEL PERU	89,100	+	106,300	195,400
			TOTAL	575,800

Entonces la densidad telefónica promedio de 1985 fue estimado igual a:

$$T_{AV} \text{ (Densidad Telefónica promedio)} = \frac{575,800}{18'932,000} = 0.03041$$

y su proyección a partir del año 1985 como:

$$T_{avn} = C_{av} (IPC_n)^{1.055}$$

$$T_{avn} = C_{av} \times \left[\left(\frac{PBI^o_t}{P^o_t} \right) \left(\frac{1.0475}{1.0265} \right)^n \right]^{1.055}$$

de las condiciones iniciales: $C_{av} = 3.32 \times 10^{-5}$

$$\text{luego, } T_{avn} = 30,365 \times 10^{-3} (1.0216)^n$$

Asumiendo una baja densidad telefónica en áreas rurales (el 10% del promedio para 1985), la densidad telefónica urbana pueda ser

derivada de:

$$Tr Pr + Tu Pu = T_{av} (Pu + Pr)$$

$$\text{ó} \quad Tu = T_{av} (1 + Pr / Pu) - Tr (Pr / Pu)$$

donde:

Tu, Tr = Densidad telefónica urbana y rural

Pu, Pr = Población urbana y rural respectivamente.

así en el año '0' - 1985

$$T_{av} = 0.0304 \quad (IPC)_{av} = 641$$

$$T_r = 0.00304 \quad (IPC)_r = 394$$

$$T_u = 0.04361 \quad (IPC)_u = 760$$

Usando la proporción del PBI urbano a rural igual a 4 (80% del PBI total para las áreas urbanas), la tendencia de crecimiento para las densidades telefónicas rural y urbana han sido proyectados paralelamente a la tendencia media mundial de acuerdo a la siguiente expresión:

$$T_{un} = C_u \times \left(\frac{0.8 \text{ PBI}^o_t}{0.6746 P^o_t} \right)^{1.055} \times \left(\frac{1.0475}{1.036} \right)^{1.055 n}$$

$$T_{un} = C_u \times 1094.6 (1.0117)^n$$

De las condiciones iniciales: $C_u = 4.12 \times 10^{-5}$

$$T_{un} = 45.08 \times 10^{-3} (1.0117)^n$$

$$T_{rn} = C_r \times \left(\frac{0.2 \text{ PBI}^o_t}{0.325 P^o_t} \right)^{1.055} \times \left(\frac{1.0475}{1.009} \right)^{1.055 n}$$

$$T_{rn} = C_r \times 548 (1.0403)^n$$

De las condiciones iniciales: $C_r = 1.11 \times 10^{-5}$

$$\text{luego } T_{rn} = 3.014 \times 10^{-3} (1.0403)^n$$

Así para el año 2000, usando la tasa de crecimiento previamente definida, la población urbana llegará al 75.5% del total, y:

$$Tav = 0.04183 \quad (IPC)av = 846$$

$$Tr = 0.005498 \quad (IPC)r = 690$$

$$Tu = 0.05186 \quad (IPC)u = 897$$

LA TENDENCIA DE CRECIMIENTO TELEFONICO PARA ENTEL PERU, BASADO EN LAS HIPOTESIS ANTERIORES SE MUESTRAN EN EL CUADRO - 5 , EN TANTO QUE LA PROYECCION DE LA DENSIDAD TELEFONICA PROMEDIO, URBANO Y RURAL PARA EL PAIS SE MUESTRA EN EL CUADRO 6

CUADRO - 5

	1981	1985	1990	1995	2000
Pob total	17'031,000	18'932,000	21'685,000	24'929,000	28'756,000
Pob CPT.	4'500,260	5'184,138	6'186,932	7'383,702	8'811,969
Pob Entel	12'530,740	13'747,861	15'498,067	17'545,298	19'944,031
Demanda TOTAL ENTEL	---	417,934	520,735	649,176	811,722
Proyec real Entel	---	195,400	298,201	426,642	589,188
Densid REA ENTEL	---	0.0142	0.0192	0.0243	0.0295

Suponiendo que N_d es el número de teléfonos con el que en un momento dado podrá atenderse la posible demanda indicada en la Fig. - 5 , se ha demostrado claramente que el número de teléfonos existentes es mucho menor que N_d y que todo intento de alcanzar N_d mediante una operación masiva en un período corto de tiempo sería imposible, debido a la falta de recursos.

Por otra parte, con el continuo crecimiento de la demanda también aumenta el valor de N_d y si no se lleva a cabo rápidamente una am

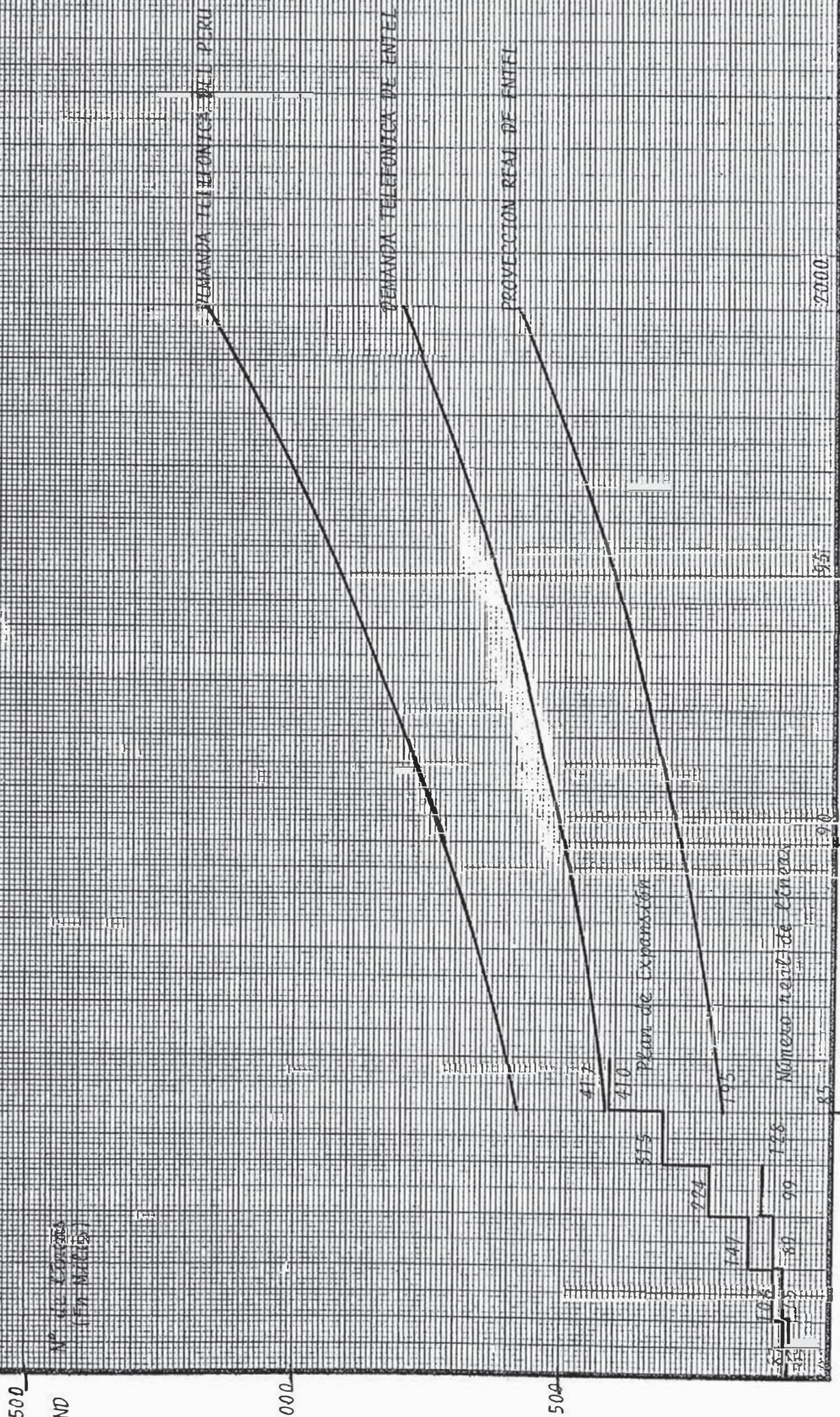
CUADRO - 6DENSIDAD TELEFONICA

	<u>Promedio</u>	<u>Urbano</u>	<u>Rural</u>
85	30.4×10^{-3}	43.61×10^{-3}	30.40×10^{-4}
86	31.2	44.07	31.62
87	31.6	44.59	32.90
88	32.3	45.11	34.23
89	33.0	45.64	35.60
90	33.8	46.17	37.04
91	34.5	46.71	38.53
92	35.2	47.26	40.08
93	36.0	47.81	41.7
94	36.8	48.37	43.38
95	37.6	48.93	45.13
96	38.4	49.51	46.94
97	39.2	50.09	48.84
98	40.0	50.67	50.80
99	40.9	51.27	52.85
2000	41.8	51.86	54.98

$$T = C(\text{IPC})^{1.055}$$

A L G U R A N O

EVOLUCION DE LA DEMANDA TELEFONICA SEGUN LA CURVA MEDIA MUNDIAL



Nº de Correas
(En Miles)

Número nivel de líneas

500

ND

1000

500

2000

95

90

85

106

80

99

128

147

193

410

417

Plan de Expansión

pliación, el déficit telefónico continuará siempre en aumento. Así en 1985 habrá un déficit de 222,234 líneas en ENTEL, asumiendo contar en ese año con 195,400 líneas.

3.5- Atención a la Demanda.-

Las necesidades a largo plazo de telefonía mostrada en las proyecciones de la demanda nacional indican requerimientos futuros que serán atendidos mediante el mejoramiento de los medios de comunicación (M/O, VHF/UHF, O.P; Estaciones Terrenas, etc.), tales como el establecimiento de nuevas arterias y la expansión de las conexiones existentes.

Por consiguiente, para el estudio de la ampliación del sistema de comunicaciones por satélite inicialmente será necesario identificar todas las poblaciones (dentro de un rango poblacional definido) que actualmente no tienen o cuentan con servicio telefónico deficiente para luego determinar el tipo de sistema más conveniente para la atención de la demanda de sus servicios.

4. TRAFICO TELEFONICO DE LARGA DISTANCIA Y LLAMADAS POR TELEFONO

La expresión "tráfico telefónico" es una denominación global del conjunto de fenómenos que ocurren cuando una o varias fuentes capaces de generar y recibir llamadas utilizan el sistema de telecomunicaciones para la transmisión de información debido a la existencia de una razón de tipo social o comercial.

En el diseño de los sistemas de telecomunicaciones rurales, es importante conocer el volumen de tráfico telefónico de larga distancia que se espera sea generado por cada abonado.

La estimación del tráfico telefónico de larga distancia debe ser precisa dentro de ciertos límites para un dimensionamiento adecuado del número de canales entre las estaciones interurbanas enlazadas, especialmente cuando las redes de las áreas rurales van a ser desarrolladas en base a enlaces por satélite. En estos sistemas los costos de las estaciones terrenas son muy sensitivos de los datos de tráfico ya que el número de circuitos de larga distancia depende del valor estimado del número de llamadas por teléfono

El tráfico telefónico de larga distancia de cualquier localidad depende del número total de teléfonos existentes y de la tasa de llamadas; el procedimiento usado para estimar el tráfico telefónico consiste en determinar una medida de tráfico por telé-

fono; a partir del cual y del número total de teléfonos se obtiene el tráfico total saliente de dicha localidad.

La medida normalizada del tráfico telefónico se define como ERLANG y es el número promedio de llamadas simultáneas durante la hora cargada. De esta manera se puede expresar la relación de Erlangs por teléfono de la forma.

$$\frac{\text{ERLANGS}}{\text{TELEFONO}} = \frac{(\text{Número de llamadas de larga distancia/telef./año}) \times (\text{tiempo de ocupación del canal por llamada}) \times (\text{tasa de concentración}) \times 2}{(\text{Tiempo total en minutos durante los cuales fueron hechas las llamadas})}$$

Asumiendo los siguientes valores:

1. Tiempo promedio de ocupación del canal por llamada de larga distancia - 5 minutos (según estadísticas actuales)
2. Concentración = $\frac{\text{Comunicación hora-punta/hora}}{\text{Comunicación hora/jornada}} = 4/3$
3. Tiempo total en minutos durante los cuales fueron hechas las llamadas, igual a:

$$(\text{N}^\circ \text{ promedio de días, cargados en un año}) \times (\text{N}^\circ \text{ promedio de horas por día (8 a.m. a 8 p.m.)}) \times (\text{minutos por hora})$$

$$= 250 \times 12 \times 60 = 18 \times 10^4 \text{ minutos/año}$$
4. El factor 2 tiene en cuenta el tráfico entrante y saliente luego:

$$\frac{\text{Erlangs}}{\text{Teléfono}} = 4.45 \times 10^{-5} \times \frac{\text{Llamadas de L. D.}}{\text{Teléfono}}$$

4.1 Proyección del número de llamadas de L. D.

Para estimar el volúmen proyectado de llamadas de larga distancia nacional desarrollaremos un método similar al análisis para la proyección de la densidad telefónica.

Los factores determinantes del número de llamadas de larga distancia son muchos y variados, tales como:

- * Número de abonados (usuarios del servicio)
- * Nivel de ingreso per cápita
- * Comercialización
- * Grado de automatización
- * Tarifas

Sin embargo experiencias sobre el particular muestran que aún habiéndose tomado en cuenta los factores anteriores, el desarrollo económico y el área geográfica tienen una influencia muy importante.

La ecuación de regresión que relaciona el total de llamadas de larga distancia de 29 países con sus respectivas áreas geográficas, PBI y población total está definida por:

$$L. D. Llamadas = \frac{0.63 \times 10^{-2}}{[\text{área (km}^2\text{)}]^{0.352}} \cdot \frac{(\text{PBI})^{1.36}}{(\text{POB})^{0.22}}$$

Coeficiente de correlación = 97%

En la Fig. - 6 se muestra geográficamente la ecuación anterior.

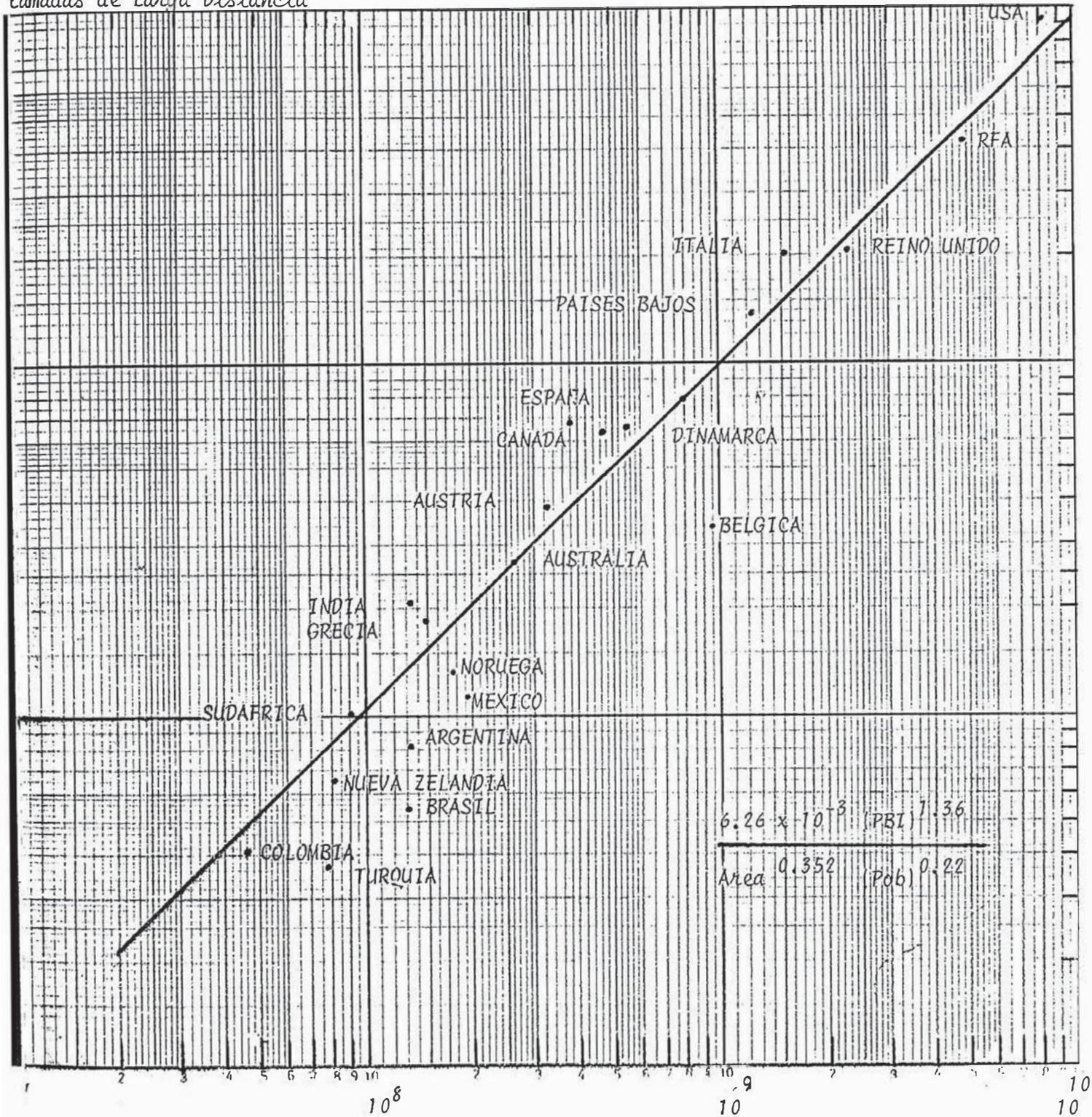
4.2. - Número de llamadas para el año inicial del estudio

Procesando la información estadística disponible de los últimos años se tiene:

FIGURA N° - 6

LINEA MUNDIAL DE LLAMADAS DE LARGA DISTANCIA

Llamadas de Larga Distancia



AÑO	Nº LLAMADAS TOTALES
1978	12'253,164
1979	14'957,667
1980	17'364,649
1981	19'440,016
1982	22'105,331

Con estos datos se encuentra una ecuación de correlación igual a:

$$\text{Llamadas L. D.} = \left[4.46 \times 10^{-5} \times \frac{(\text{PBI})^{1.36}}{(\text{POB})^{0.22}} \right]^{1.14} \times 4 \times 10^{-2}$$

$$\text{Area} = 1'285,216.6 \text{ Km}^2$$

$$\text{PBI} = 12,132'000,000 \text{ US\$}$$

$$\text{POB} = 18'932,000$$

$$\text{Para 1985: Llamadas L.D.} = 28'281,275 \text{ llamadas.}$$

A partir de este año la tendencia de crecimiento del número de llamadas de Larga Distancia se considera paralelo a la tendencia mundial, así:

$$\text{Llamadas L. D.} = 2.18 \times 10^{-5} \cdot \frac{(\text{PBI})^{1.36}}{(\text{POB})^{0.22}}$$

4.3.- Proyección del Nº de llamadas de L. D./teléfono .-

Un estimado del número de llamadas L. D. por teléfono se obtiene de la relación:

$$\text{Llamadas L. D. / teléfono} = \frac{\text{Llamadas totales L. D.}}{\text{Densidad tel. AV. x Pob total}}$$

Asumiendo una tasa de crecimiento poblacional de 2.6 % se tiene:

$$(Llamadas L.D./telef)_n = 2.18 \times 10^{-5} \times \frac{(PBI_n)^{1.36}}{[POB_o \cdot (1.026)^n]^{1.22}} \times \frac{1}{t_n}$$

Asimismo, basado en la proyección de la densidad telefónica (urbana y rural) y del promedio de llamadas por teléfono: se puede derivar una expresión para el número de llamadas por teléfono rural y urbano en el año "n"

Desde que:

$$(Llamadas L. D./telef.) Urb = \frac{(Total de llamadas L. D.) Urb.}{(Densidad telef.) Urb. \times Pob Urb}$$

$$(Llamadas L. D./telef) rural = \frac{(Total de Llamadas L. D.)}{(Densidad telef) rural \times Pob,rural}$$

$$y \frac{(Total de llamadas) urb}{(Total de llamadas)rural} = \frac{(PBI urb/ PBI rural)^{1.36}}{(Pob urb/Pob rural)^{0.22}}$$

Para el año 2000

$$\frac{(PBI) Urb}{(PBI) rural} = 4 \quad y \quad \frac{(Pob) Urb}{(Pob) rural} = 3.08$$

$$\frac{(Total llamadas) Urb}{(Total llamadas) rural} = 5.14$$

$$(Total llamadas) rural$$

$$(Llamadas L.D/telef) Urb = 0.8166 (Llamadas L.D/telef)_{total}$$

$$(Llamadas L.D./telef) rural = 4.612 (Llamadas L.D./telef)_{total}$$

Luego, en el año final (2000)

(Erlang/telef) Urb. = 0.002063

(Erlangs/telf) rural = 0.11656

El gran valor que se obtiene para las llamadas rurales por teléfono puede ser explicado por el valor extremadamente bajo de su densidad telefónica.

El total de llamadas desde áreas urbanas son 5.14 veces más que las llamadas desde áreas rurales, mientras que el total de teléfonos en áreas urbanas es 29.05 veces más que el total de teléfonos en las áreas rurales.

Por lo tanto las llamadas por teléfono en las áreas rurales serán 5.64 veces más que las llamadas en las áreas urbanas.

En el Cuadro 7 se muestra el tráfico/telf. (rural, urbano y promedio) en erlangs para el período de estudio

Como los costos de las estaciones terrenas son muy sensitivos de los datos de tráfico, se puede usar el promedio mundial presentado aquí para establecer límites y en casos en que no se disponga de datos de otra alternativa.

CUADRO - 7 a.

PROYECCION DEL N° DE LLAMADAS DE L.D.

<u>AÑO</u>	<u>LLAMADAS TOTAL</u>	<u>(LLAM/TEL.)_{AV}</u>	<u>(LLAM/TEL.)_{URB}</u>	<u>(LLAM/TEL.)_R</u>
1985	28.300 x 10 ⁶	49.17	40.89	219.18
1986	29.987 x 10 ⁶	49.74	41.27	219.46
1987	31.698 x 10 ⁶	50.21	41.62	222.18
1988	33.565 x 10 ⁶	50.62	41.96	225.84
1989	35.533 x 10 ⁶	51.19	42.31	227.86
1990	37.674 x 10 ⁶	51.70	42.62	230.76
1991	39.854 x 10 ⁶	52.12	43.04	233.84
1992	42.227 x 10 ⁶	52.64	43.36	236.76
1993	44.648 x 10 ⁶	53.21	43.78	239.74
1994	47.279 x 10 ⁶	53.73	44.13	242.86
1995	50.048 x 10 ⁶	54.26	44.49	245.94
1996	52.965 x 10 ⁶	54.63	44.86	248.98
1997	56.035 x 10 ⁶	55.16	45.23	252.14
1998	59.368 x 10 ⁶	55.78	45.61	255.44
1999	62.878 x 10 ⁶	56.26	46.00	258.72
2000	66.470 x 10 ⁶	56.79	46.38	261.96

CUADRO - 7 b.

PROYECCION DEL NUMERO DE ERLANGS POR TELEFONO DE L.D.

<u>AÑO</u>	<u>(ERL/TEL)_{AV}</u>	<u>(ERL/TEL)_{URB}</u>	<u>(ERL/TEL)_R</u>
1985	21.88 x 10 ⁻⁴	18.19 x 10 ⁻⁴	97.52 x 10 ⁻⁴
1986	22.13 x 10 ⁻⁴	18.36 x 10 ⁻⁴	97.66 x 10 ⁻⁴
1987	22.34 x 10 ⁻⁴	18.52 x 10 ⁻⁴	98.86 x 10 ⁻⁴
1988	22.53 x 10 ⁻⁴	18.67 x 10 ⁻⁴	100.14 x 10 ⁻⁴
1989	22.78 x 10 ⁻⁴	18.82 x 10 ⁻⁴	101.40 x 10 ⁻⁴
1990	23.00 x 10 ⁻⁴	18.96 x 10 ⁻⁴	102.68 x 10 ⁻⁴
1991	23.19 x 10 ⁻⁴	19.15 x 10 ⁻⁴	104.06 x 10 ⁻⁴
1992	23.42 x 10 ⁻⁴	19.29 x 10 ⁻⁴	105.36 x 10 ⁻⁴
1993	23.67 x 10 ⁻⁴	19.48 x 10 ⁻⁴	106.68 x 10 ⁻⁴
1994	23.91 x 10 ⁻⁴	19.63 x 10 ⁻⁴	108.06 x 10 ⁻⁴
1995	24.14 x 10 ⁻⁴	19.79 x 10 ⁻⁴	109.44 x 10 ⁻⁴
1996	24.31 x 10 ⁻⁴	19.96 x 10 ⁻⁴	110.78 x 10 ⁻⁴
1997	24.54 x 10 ⁻⁴	20.12 x 10 ⁻⁴	112.3 x 10 ⁻⁴
1998	24.82 x 10 ⁻⁴	20.29 x 10 ⁻⁴	113.66 x 10 ⁻⁴
1999	25.03 x 10 ⁻⁴	20.47 x 10 ⁻⁴	115.12 x 10 ⁻⁴
2000	25.27 x 10 ⁻⁴	20.63 x 10 ⁻⁴	116.56 x 10 ⁻⁴

5. DISTRIBUCION DE TRAFICO .-

Habiendo determinado el tráfico total originado en cada estación, el siguiente paso es distribuir éste a los diferentes destinos incluyendo la misma estación.

Coeficientes de Preferencia .-

Un método ampliamente usado consiste en distribuir el tráfico originado de cada estación en proporción al tráfico total originado en la estación de destino multiplicado por un coeficiente de preferencia que representa el grado de la comunidad de intereses entre un par de estaciones concernientes.

Haciendo N = Número de Centrales
 O_i = Tráfico total originado en la central i
 K_{ij} = Coeficiente de preferencia de las llamadas de la central i hacia la central j
 X_{ij} = Tráfico originado en i y terminado en j

Entonces:

$$X_{ij} = \frac{O_i O_j K_{ij}}{O_1 K_{j1} + O_2 K_{j2} + \dots + O_N K_{jN}}$$

Por conveniencia, K_{ii} se puede tomar como la unidad.

En general $K_{ij} \neq K_{ji}$

Debemos notar que la siguiente variación de la fórmula es incorrecta, porque no satisface automáticamente la condición

obvia $\sum_j X_{ij} = O_i$

$$X_{ij} = \frac{O_i O_j K_{ij}}{O_1 + O_2 + \dots + O_n}$$

Los coeficientes de preferencia pueden ser interpretados como sigue:

Haciendo: $p(j/i)$ = probabilidad condicional que un erlang originado en i termine en j

$\emptyset(i/j)$ = probabilidad condicional que un erlang terminado en j sea originado en i

Hemos definido estas probabilidades en términos de erlang más bien que llamadas, para admitir diferencias en el tiempo promedio de la duración de llamadas de diferentes destinos.

Entonces $X_{ij} = O_i p(j/i) = O_j \emptyset(i/j)$

(Asumiendo que el tráfico originado y terminado son iguales en cada central).

También $O_i = \sum_j X_{ij} = \sum_j O_j \emptyset(i/j)$

Así $p(j/i) = \frac{O_j \emptyset(i/j)}{\sum_j O_j \emptyset(i/j)}$

Por lo tanto

$$X_{ij} = \frac{O_i O_j \emptyset(i/j)}{\sum_j O_j \emptyset(i/j)}$$

Por tanto $K_{ij} = \frac{\emptyset(i/j)}{\emptyset(i/i)}$

Si todos los flujos de tráfico X_{ij} son conocidos, hay ecuaciones suficientes para determinar los términos K_{ij} , tomando K_{ii} como la unidad para todo i . Si se proveen los cambios del tráfico total originado en cada central O_i en el futuro, los cambios resultantes en la distribución de tráfico se pueden estimar sin cálculos explícitos de los términos K_{ij} , asumiendo

que el grado de la comunidad de intereses relativa en todas las partes de la red es invariable y que no serán acondicionadas nuevas centrales. Denotando por O_i , O_j y X_{ij} los futuros valores del flujo de tráfico y denotando por O^o_i , O^o_j y X^o_{ij} sus valores presentes. Entonces:

$$K_{ij} = \frac{X^o_{ij} (O^o_1 K_{i1} + O^o_2 K_{i2} + \dots + O^o_n K_{in})}{O^o_i O^o_j}$$

Aquí $K_{ij} = (X^o_{ij} O^o_i K_{ii}) / (X^o_{ii} O^o_j) = (X^o_{ij} O^o_i) / (X^o_{ii} O^o_j)$

Así $X_{ij} = (O_i O_j X^o_{ij} / O^o_j) (O_1 X^o_{i1} / O^o_1 + O_2 X^o_{i2} / O^o_2 + \dots + O_n X^o_{in} / O^o_n)$

6. REQUERIMIENTO DE CIRCUITOS:

La ecuación más comunmente usada, es la ecuación Erlang-B, que asume un número infinito de fuentes y llamadas infructuosas con pérdida.

La ecuación Erlang-B ha sido estandarizada por el CCITT como:

$$P = \frac{Y^n / n!}{\sum_{j=0}^n Y^j / j!}$$

Donde: P = Probabilidad de pérdida
 Y = Tráfico ofrecido
 n = Número de circuitos

El Cuadro 9 muestra los valores de la ecuación para varios grados de servicio.

NOTA:

En el Capítulo V se presenta los resultados obtenidos basados en la aplicación de estos procedimientos para el proyecto de ampliación del Sistema DOMSAT.

Se ha usado como datos de entrada la matriz de tráfico mostrada en el Cuadro - 8 .

REFERENCIAS :

Rural Communication Planning
Methodology for integrating Satellite and terrestrial facilities
By: Ranjana Garg Sharma
Radioscience Laboratory
Communication Satellite Planning Center
Stanford University
Stanford, California.

CUADRO No. - 3

TRAF. SALIENTE ERLANGS 1985	AREQ.	CHCLXO	CHIMB.	CUZCO	HUACHO	HYO.	ICA	IQUIT.	JULIAC.	LIMA	PIURA	PUCALLP.	TACNA	TARAP.	TRUJILL.	HUANUCO	HUARAZ	LIMA-ENTEL	TOTAL
1. AREQUIPA	60.915	1.015	0.527	15.016	0.389	1.313	2.931	0.392	22.828	107.707	1.404	0.179	25.182	0.065	1.384	0.383	0.134	0.156	242.92
2. CHICLAYO	1.027	32.258	5.401	0.217	1.657	0.984	0.811	0.907	0.089	124.092	26.149	0.082	0.214	1.542	28.433	0.316	0.184	0.083	224.446
3. CHIMBOTE	0.714	4.787	-	0.230	1.963	0.523	0.697	0.293	0.094	101.65	2.603	0.157	0.287	0.098	34.026	0.232	3.465	0.181	152.00
4. CUZCO	23.480	0.395	0.162	33.930	0.145	2.875	1.588	0.379	10.031	114.121	0.832	0.222	2.489	0.059	0.916	0.403	0.146	0.126	192.299
5. HUACHO	0.519	1.998	3.202	0.173	9.183	0.869	1.352	0.286	0.080	102.283	1.107	0.086	0.117	0.046	2.870	0.240	0.749	3.053	128.267
6. HUANCAYO	2.358	0.842	0.706	3.131	0.538	44.088	3.874	0.459	0.771	206.85	1.018	0.604	0.532	0.133	2.574	6.305	0.267	0.480	275.53
7. ICA	3.211	0.746	0.578	0.973	1.371	3.261	36.022	0.391	0.193	156.708	0.935	0.366	3.249	0.092	1.180	0.636	0.264	2.445	210.622
8. IQUITOS	0.897	1.567	0.493	0.228	0.337	0.620	0.383	-	0.105	146.06	1.667	0.158	0.054	6.500	2.209	0.997	0.026	0.056	171.306
9. JULIACA	24.885	0.117	0.112	4.237	0.140	0.356	0.264	0.058	11.015	22.511	0.137	0.013	1.139	0.009	0.309	0.022	0.002	0.011	65.317
10. LIMA	57.373	40.752	23.040	25.255	17.167	43.591	35.962	23.69	8.759	-	45.767	11.438	27.732	7.017	57.299	17.300	7.244	8.022	447.416
11. PIURA	1.213	23.551	2.656	0.305	0.686	0.377	0.604	1.205	0.071	135.963	48.622	0.127	0.231	0.140	13.691	0.251	0.142	0.180	230.015
12. PUCALLPA	0.285	0.325	0.289	0.103	0.161	0.449	0.662	7.649	0.017	14.846	0.248	-	0.099	0.599	0.553	2.567	0.041	0.055	28.949
13. TACNA	50.609	1.314	1.319	3.302	0.928	1.163	3.231	0.597	3.222	116.944	1.077	0.158	29.084	0.067	2.234	0.213	0.101	0.152	215.715
14. TARAPOTO	0.230	3.927	0.253	0.171	0.036	0.151	0.323	11.235	-	13.936	0.949	1.375	0.076	12.418	4.956	0.424	0.008	0.041	50.529
15. TRUJILLO	1.528	31.818	26.950	0.395	1.260	1.155	0.949	1.464	0.133	183.09	11.328	0.250	0.506	1.070	39.407	0.391	0.905	0.200	302.719
16. HUANUCO	0.434	0.455	0.320	0.195	0.252	4.318	0.504	0.919	0.043	45.148	0.285	2.917	0.105	0.395	1.164	10.277	0.055	0.105	67.892
17. HUARAZ	0.073	0.224	1.539	0.071	0.485	0.221	0.091	0.046	0.023	15.636	0.093	0.014	0.036	0.001	0.960	0.101	-	0.066	19.68
18. LIMA-ENTEL	0.312	0.285	0.164	0.113	2.694	0.269	2.915	0.033	0.013	35.517	0.326	0.019	0.153	0.016	0.280	0.101	0.019	0.031	43.282
TOTAL	230.063	146.315	67.719	88.045	39.392	106.583	93.163	50.003	57.487	1643.06	144.551	27.165	80.24	30.307	194.445	41.162	13.762	15.443	3068.904

CUADRO - 9

CUADRO DE LA FÓRMULA DE ERLANG

Cuadro de la fórmula de llamadas perdidas de Erlang
(fórmula N.º 1 de Erlang, llamada también fórmula B de Erlang)

Probabilidades de pérdida: 1%, 3%, 5%, 7%.

Sean p = la probabilidad de pérdida,
 y = el tráfico ofrecido (en erlangs),
 n = el número de circuitos.

$$\text{Fórmula: } E_{1,n}(y) = p = \frac{\frac{y^n}{n!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \dots + \frac{y^n}{n!}}$$

n	$p = 1\%$	$p = 3\%$	$p = 5\%$	$p = 7\%$	n	$p = 1\%$	$p = 3\%$	$p = 5\%$	$p = 7\%$
1	0,01	0,03	0,05	0,08	51	38,59	42,89	45,53	47,72
2	0,15	0,28	0,38	0,47	52	39,70	43,85	46,53	48,76
3	0,46	0,72	0,90	1,06	53	40,60	44,81	47,53	49,79
4	0,87	1,26	1,53	1,75	54	41,50	45,78	48,54	50,83
5	1,36	1,88	2,22	2,50	55	42,41	46,74	49,54	51,86
6	1,91	2,54	2,96	3,30	56	43,31	47,70	50,54	52,90
7	2,50	3,25	3,74	4,14	57	44,22	48,67	51,55	53,94
8	3,13	3,99	4,54	5,00	58	45,13	49,63	52,55	54,98
9	3,78	4,75	5,37	5,88	59	46,04	50,60	53,56	56,02
10	4,46	5,53	6,22	6,78	60	46,95	51,57	54,57	57,06
11	5,16	6,33	7,08	7,69	61	47,86	52,54	55,57	58,10
12	5,88	7,14	7,95	8,61	62	48,77	53,51	56,58	59,14
13	6,61	7,97	8,84	9,54	63	49,69	54,48	57,59	60,18
14	7,35	8,80	9,73	10,48	64	50,60	55,45	58,60	61,22
15	8,11	9,65	10,63	11,43	65	51,52	56,42	59,61	62,27
16	8,88	10,51	11,54	12,39	66	52,44	57,39	60,62	63,31
17	9,65	11,37	12,46	13,35	67	53,35	58,37	61,63	64,35
18	10,44	12,24	13,39	14,32	68	54,27	59,34	62,64	65,40
19	11,23	13,11	14,31	15,29	69	55,19	60,32	63,65	66,44
20	12,03	14,00	15,25	16,27	70	56,11	61,29	64,67	67,49
21	12,84	14,89	16,19	17,25	71	57,03	62,27	65,68	68,53
22	13,65	15,78	17,13	18,24	72	57,96	63,24	66,69	69,58
23	14,47	16,68	18,08	19,23	73	58,88	64,22	67,71	70,62
24	15,29	17,58	19,03	20,22	74	59,80	65,20	68,72	71,67
25	16,13	18,48	19,99	21,21	75	60,73	66,18	69,74	72,72
26	16,96	19,39	20,94	22,21	76	61,65	67,16	70,75	73,77
27	17,80	20,31	21,90	23,21	77	62,58	68,14	71,77	74,81
28	18,64	21,22	22,87	24,22	78	63,51	69,12	72,79	75,86
29	19,49	22,14	23,83	25,22	79	64,43	70,10	73,80	76,91
30	20,34	23,06	24,80	26,23	80	65,36	71,08	74,82	77,96
31	21,19	23,99	25,77	27,24	81	66,29	72,06	75,84	79,01
32	22,05	24,91	26,75	28,25	82	67,22	73,04	76,86	80,06
33	22,91	25,84	27,72	29,26	83	68,15	74,02	77,87	81,11
34	23,77	26,78	28,70	30,28	84	69,08	75,01	78,89	82,15
35	24,64	27,71	29,68	31,29	85	70,02	75,99	79,91	83,21
36	25,51	28,65	30,66	32,31	86	70,95	76,97	80,93	84,26
37	26,38	29,59	31,64	33,33	87	71,88	77,96	81,95	85,31
38	27,25	30,53	32,62	34,35	88	72,81	78,94	82,97	86,36
39	28,13	31,47	33,61	35,37	89	73,75	79,93	83,99	87,41
40	29,01	32,41	34,60	36,40	90	74,68	80,91	85,01	88,46
41	29,89	33,36	35,58	37,42	91	75,62	81,90	86,04	89,52
42	30,77	34,30	36,57	38,45	92	76,56	82,89	87,06	90,57
43	31,66	35,25	37,57	39,47	93	77,49	83,87	88,08	91,62
44	32,54	36,20	38,56	40,50	94	78,43	84,86	89,10	92,67
45	33,43	37,16	39,55	41,53	95	79,37	85,85	90,12	93,73
46	34,32	38,11	40,54	42,56	96	80,31	86,84	91,15	94,78
47	35,22	39,06	41,54	43,59	97	81,24	87,83	92,17	95,83
48	36,11	40,02	42,54	44,62	98	82,18	88,82	93,19	96,89
49	37,00	40,98	43,53	45,65	99	83,12	89,80	94,22	97,94
50	37,90	41,93	44,53	46,69	100	84,06	90,79	95,24	98,99

CAPITULO II

COMPARACION TECNICO-ECONOMICA DE SISTEMAS DE RADIO TERRESTRES Y SATELITALES

A. COMPARACION TECNICA

A.1 SISTEMAS DE RADIO TERRESTRES.

1. Introducción

Los enlaces interurbanos cubren generalmente grandes distancias con haces concentrados de canales entre ciudades y atravesando zonas de diversa geografía, tanto en lo que concierne a la naturaleza del terreno como a las condiciones meteorológicas predominantes.

El uso de los sistemas de radiovisibilidad es ampliamente conocido como un medio de óptimo desempeño (en términos de la relación S/N), flexible, confiable y económico. El diseño de estos sistemas ha sido objeto de muchos estudios y actualmente es una tecnología madura. Mientras que la mayoría de los equipos existentes hace uso de la técnica FDM/FM, hay una tendencia hacia el uso de los sistemas de radio digital en redes nuevas y de reemplazo.

2. Consideraciones Generales

2.1 Mecanismos de Propagación

Sobre la banda de VHF estas ondas se transmiten casi en línea

recta y se enfocan por medio de antenas de alta ganancia en haces concentrados que exhiben alguna de las propiedades de la luz.

La longitud de los saltos dependen de las características del terreno, la frecuencia de operación, la potencia de salida del transmisor y el nivel umbral del receptor. Los saltos de un enlace pueden ser tanto como 160 Km, pero generalmente se encuentran saltos de 30 a 50 Kms.

Otros factores tales como el clima (atenuación por lluvia, desvanecimiento y formación de ductos), la disponibilidad de línea de vista, la presencia de superficies de reflexión y fuentes de perturbación afectan también la longitud de un enlace.

2.1.1 Efectos del terreno en la propagación

a. Zonas de Fresnel

Dada una antena localizada a una altura "h" de una torre, la zona de visibilidad "d" para atmósfera normal $K=4/3$ (K es el factor que tiene en cuenta los efectos de refracción) está dado por:

$$d \text{ (Km)} = 4.2 \sqrt{h} \quad h \text{ (mts.)}$$

y la distancia total de un salto es:

$$d \text{ (Km)} = 4.2 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Las alturas de las antenas h_1 y h_2 se deben elegir de tal forma que la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos, de otro modo habrían pérdidas adicionales por obstrucción en la trayectoria de transmisión.

Se puede demostrar que a una cierta distancia d_1 de la fuente, el radio del elipsoide de Fresnel de orden 'n' (límite de la zona de Fresnel de orden "n") es expresado por:

$$F_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d}}$$

Donde:

$$d = d_1 + d_2 \quad (\text{Fig. - 1})$$

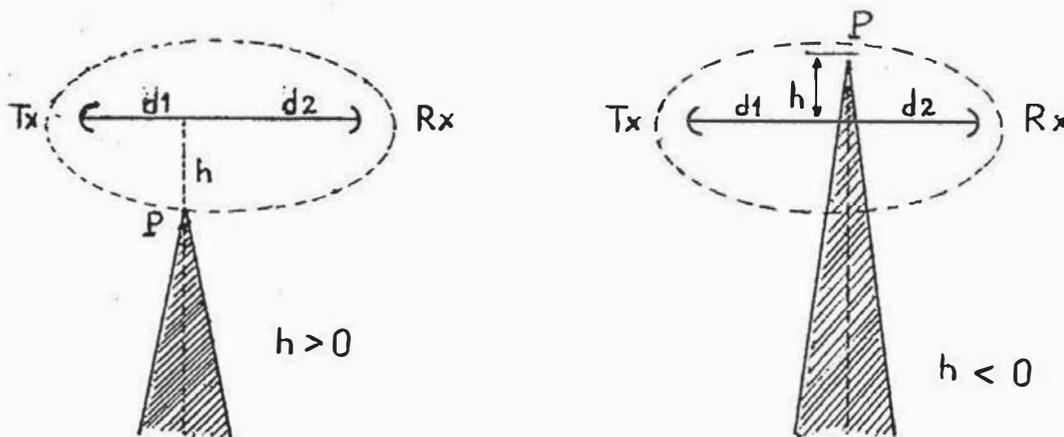


FIG. - 1 Efecto de Obstáculos en los enlaces de radio

Para la primera zona de Fresnel y en la mitad de la trayectoria ($n=1$).

$$F_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

Se puede considerar que la mayor parte de la energía transmitida está concentrada en la primera zona de Fresnel, así para un obstáculo tangente a la línea de vista, tenemos una obstrucción de la mitad inferior de la primera zona de Fresnel, habiendo una reducción de 6 db en relación a la potencia de espacio libre.

b. Efecto de los obstáculos en los enlaces de radio.

Para un determinado valor de K (trabajándose con la carta de K correspondiente), es suficiente un despeje igual a $0.6F_1$, para tener las condiciones aproximadas de espacio libre. Obstrucciones mayores de la zona de Fresnel producen atenuaciones crecientes ($h/F_1 < 0.6$ - Fig. - 2).

Como en la práctica no existe un valor preciso de K a ser adoptado, y considerando que el fenómeno de refracción varía con el tiempo, existen varios criterios de despeje adoptados como una función de la variación de las condiciones de refracción en la región de estudio.

La adopción de las condiciones de desobstrucción para una trayectoria es tan importante porque afecta los costos y la calidad de performance. Como ejemplo citamos el siguiente criterio:

- . Para rutas cargadas (Sistemas de alta confiabilidad)
 - al menos $0.3 F_1$ para $K= 2/3$
 - y $1.0 F_1$ para $K= 4/3$
- . Para rutas ligeras (Sistemas con requerimientos menores de confiabilidad)
 - al menos $0.6 F_1 + 3$ (mts) para $K=1$

2.1.2 Desvanecimiento

Desvanecimiento ("fading") es el nombre dado para caracterizar el fenómeno de las variaciones aleatorias a lo largo del tiempo de la intensidad de la señal recibida. Las causas del desvanecimiento se deben al cambio de las características del medio de propagación entre las antenas.

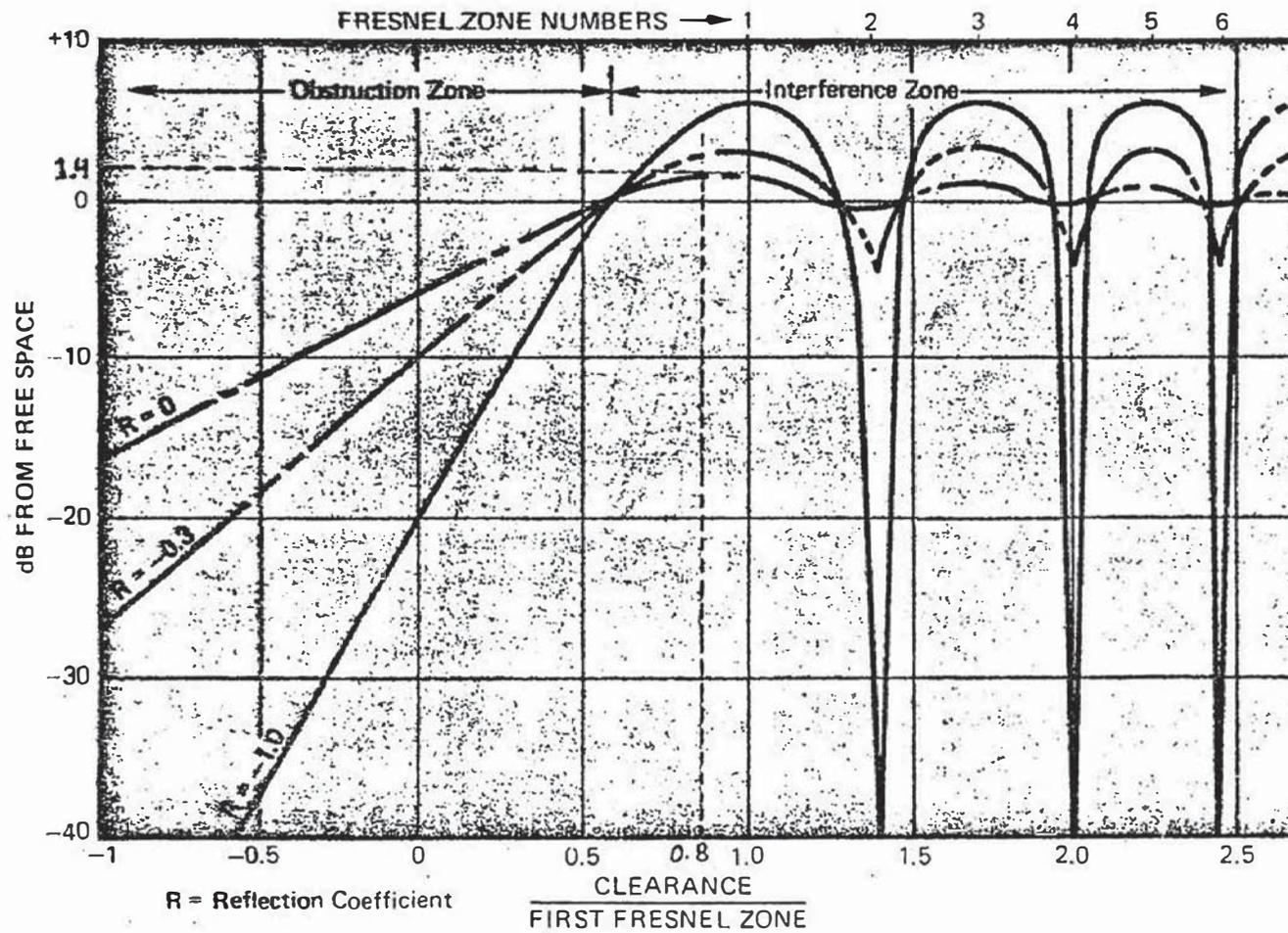


FIG. - 2 ATENUACION VS. DESPEJE DEL TRAYECTO PARA VARIOS TIPOS DE OBSTACULOS.

En un enlace que atiende los criterios de desobstrucción y donde no exista anomalías en la propagación como la formación de ductos, la causa de desvanecimiento principal es la propagación por trayectos múltiples.

El tratamiento del desvanecimiento por trayectos múltiples está basado fundamentalmente en la experiencia. Este tipo de desvanecimiento se ha encontrado que puede ser aproximado por la fórmula de Rayleigh como un resultado de las pruebas de propagación. La distribución de Rayleigh se toma frecuentemente como el valor límite para este tipo de desvanecimiento, en trayectos con línea de vista y adecuado despeje.

La probabilidad de la ocurrencia del desvanecimiento Rayleigh P_r que depende de la condición del salto, frecuencia etc., puede obtenerse de la siguiente ecuación, deducido sobre la base de mediciones reales obtenidas de muchos enlaces de microondas:

$$P_r = a \times b \times 6 \times 10^{-7} \times f \times D^3$$

Donde:

D = Longitud del tramo (Km)

f = frecuencia en (GHz)

a = 4 : Zona costera

= 1 : Zona llana

= 1/4: Zona montañosa

b = 1/2: Area costera

= 1/4: Area plana

= 1/8: Area montañosa

2.1.3 Confiabilidad de propagación y consideraciones de diversidad

La confiabilidad en la planificación y operación de sistemas de radio, adquiere una importancia creciente a medida que los radio enlaces aumentan de capacidad, se extienden y ramifican formando sistemas cada vez más complejos, capaces de transportar tipos de información de ancho de banda y velocidades cada vez mayores desde el simple canal telefónico o su submúltiplo canal telegráfico hasta la transmisión de datos de alta velocidad que alimentan los computadores modernos.

La confiabilidad es la aptitud de un sistema de operar en forma satisfactoria de acuerdo a normas pre-establecidas, durante un período de tiempo probable T , a lo largo de un año de funcionamiento continuo. Al hablar de sistema se involucra en él, tres fuentes potenciales de interrupciones que determinan su confiabilidad.

- a. Por efectos de propagación (desvanecimiento, ductos, etc).
- b. Equipos
 - * Por fallas del equipo de radio y multiplex, que en el caso de interrupciones instantáneas en el sistema, se deben asignar a diseño de equipo, mientras que aquellos de mayor período deberán en general atribuirse a mantenimiento.
 - * Falla en el suministro de energía en sus distintas facetas.
 - * Operación del sistema, procedimientos y realización del mantenimiento no adecuado.
- c. Errores humanos en el uso de las distintas partes que componen el sistema.

Un método de cálculo de la interrupción por efectos de propagación se basa en los trabajos de Barnett que define 'r' como:

$$r = \frac{\text{Probabilidad de desvanecimiento actual}}{\text{Probabilidad de desvanecimiento Rayleigh } (=10^{-F/10})}$$

Para el peor mes:

$$r_m = a \times 6 \times 10^{-7} \times f \times D^3$$

y para un año:

$$r_{yr} = b \cdot r_m$$

Combinando estas ecuaciones y notando que la probabilidad de desvanecimiento actual es igual a U_{ndp} (indisponibilidad del Sistema) para un margen de desvanecimiento F, se tiene :

$$U_{ndp} = a \times b \times 6 \times 10^{-7} \times f \times D^3 \times 10^{-F/10}$$

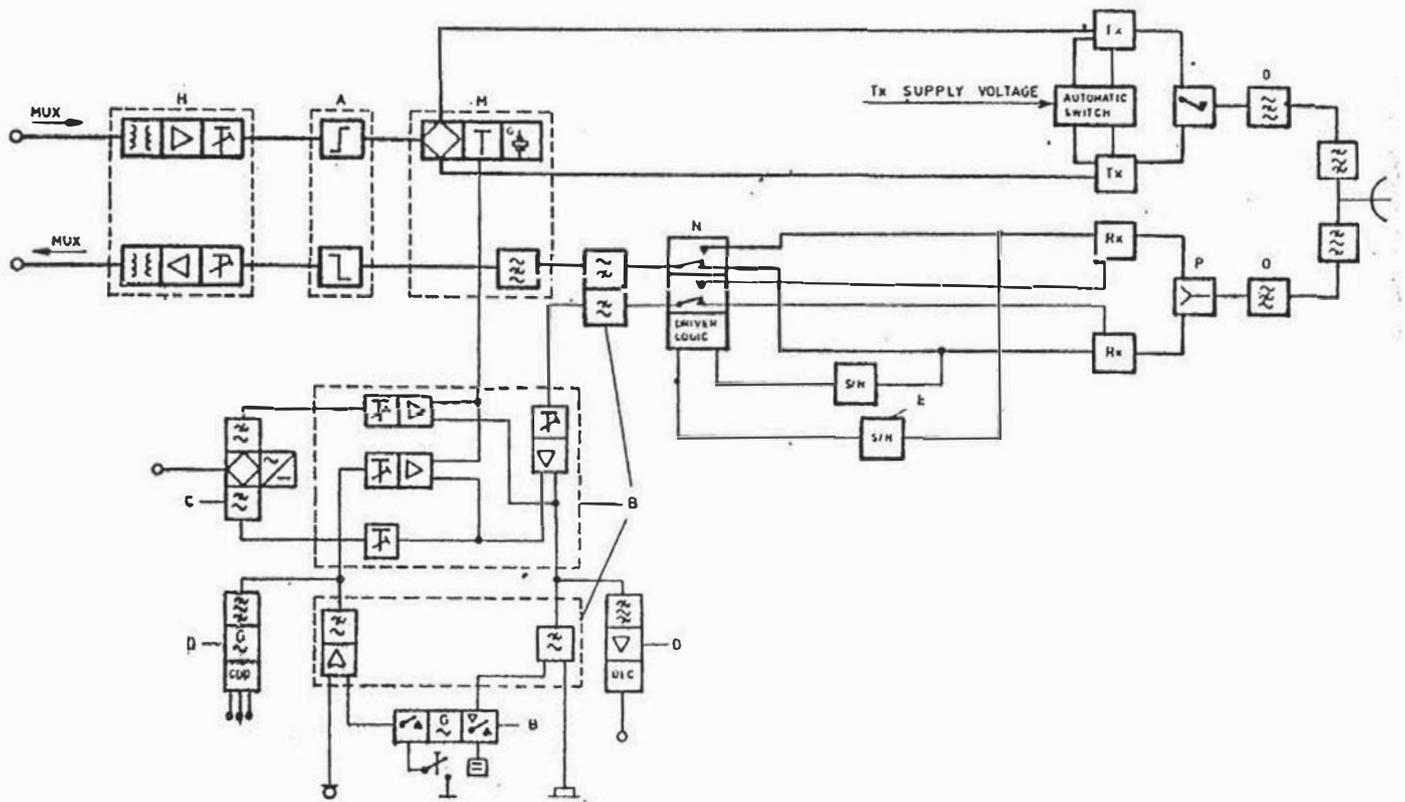
y la confiabilidad de propagación = $(1-U_{ndp})$

La duración del número de desvanecimientos durante un cierto período de tiempo (ej. durante un mes) influye en la calidad de transmisión. Estas magnitudes influyen también en la elección del sistema de diversidad (redundancia), necesaria para reducir la degradación de la calidad. Revisten particular importancia en los sistemas de radio digitales en los que la calidad de funcionamiento se expresa en términos de segundos de error.

En VHF/UHF, dedicados a enlaces de baja capacidad el sistema de redundancia es con dos dispositivos: uno de trabajo y otro de reserva en arreglo de frecuencia simple (Fig. - 3)

En las regiones altas de UHF y SHF, dedicados a densidad media y alta de servicio la redundancia ocurre bajo configuración de diversidad de espacio (Fig. - 4) y diversidad de frecuencia, a

nivel de IF ó BB (Fig. - 5).



- A : Pre/De-emphasis
- B : Service channel equipment
- C : Extension of service channel
- D : Remote alarm equipment
- E : Pilot/Noise equipment
- H : Line transformer
- M : Pilot oscillator/filter
- N : Baseband switch
- O : Band-stop filter
- P : Power splitter

FIG. 3 Configuración de Reserva Fría (Tx) y Reserva Caliente (Rx) - UHF.

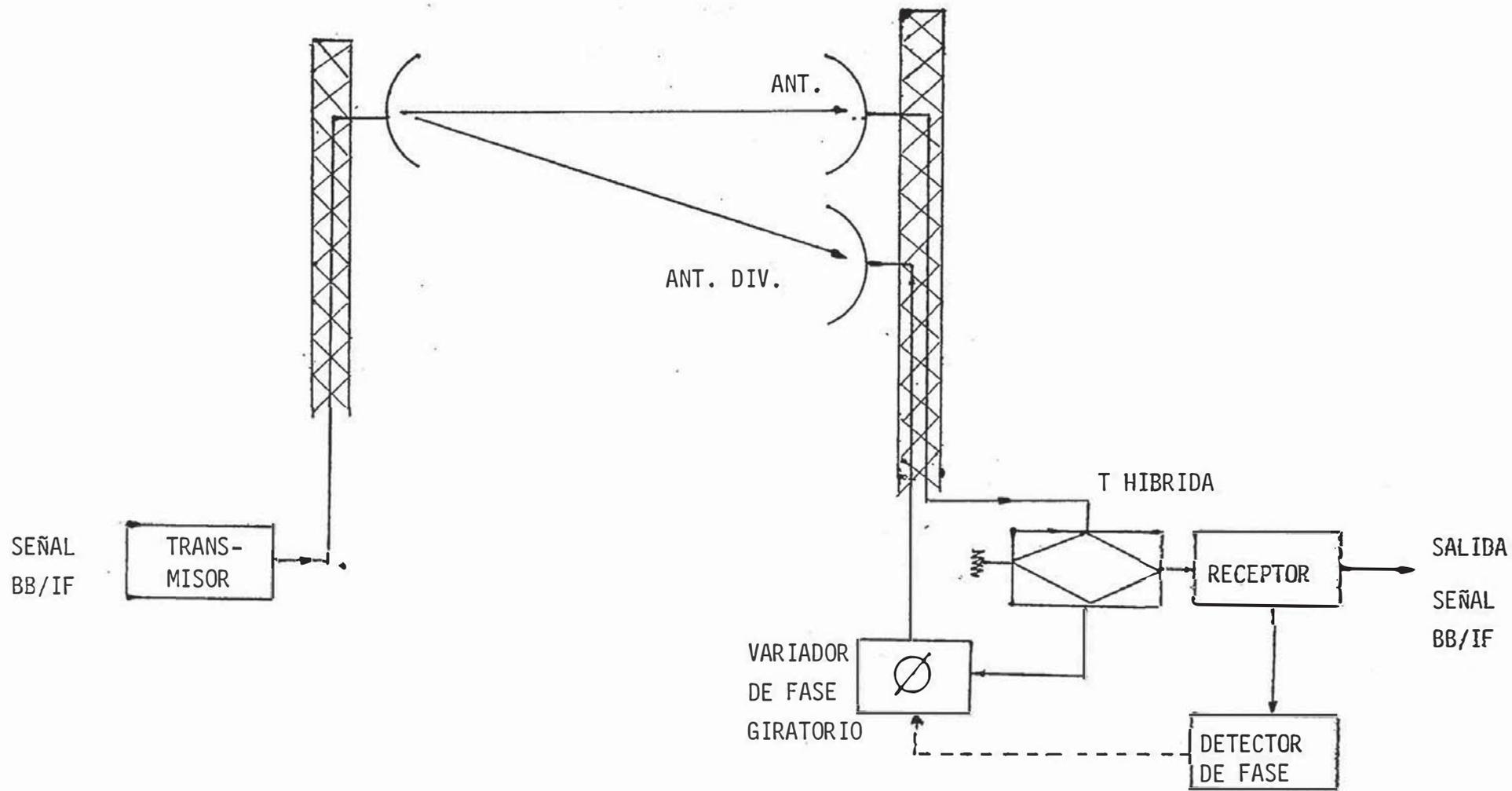


FIG. - 4 SISTEMA DE DIVERSIDAD DE ESPACIO EN SHF SIN EQUIPO REDUNDANTE

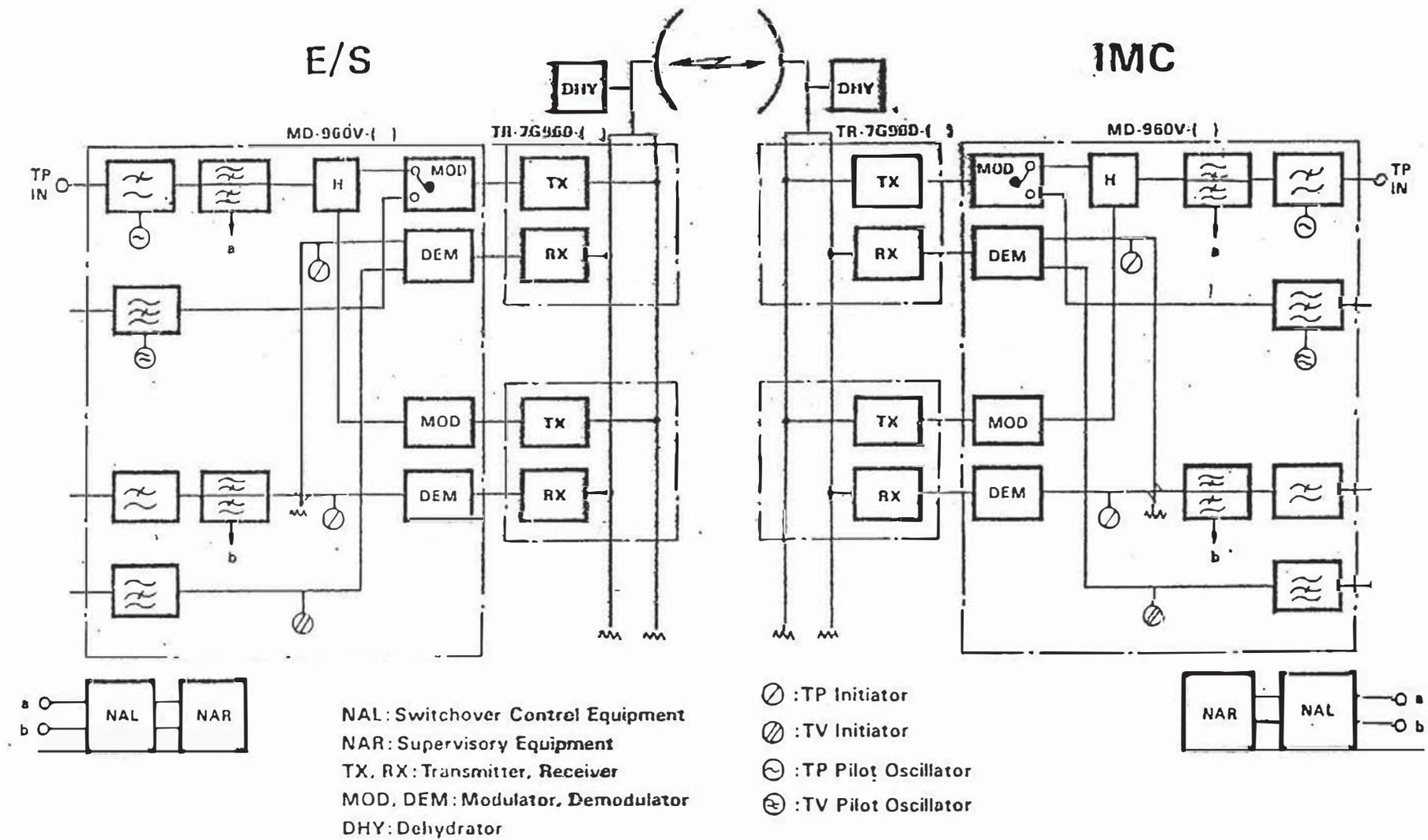


FIG. - 5 CONFIGURACION DE DIVERSIDAD DE FRECUENCIA (LLAMADO SISTEMA 1 + 1 UN CANAL DE RESERVA PARA OTRO DE TRABAJO, USA DOS FRECUENCIAS DE TRANSMISION Y RECEPCION RESPECTIVAMENTE.).

Cuando se usan conjuntamente diversidad de frecuencia y de espacio la configuración es llamada diversidad en cuadratura.

Es interesante notar que en los sistemas de alta capacidad operan más de una portadora de radio y expandibles a $3 + 1$ en sistemas de doble ruta (una reserva común y tres canales trabajando) ó a $(7 + 1)$ ó $(6 + 2)$ en sistemas de una ruta. En otros casos, el número total de frecuencias entrantes y salientes es restringido a 8 debido a limitaciones de frecuencia de la antena.

Para fines de claridad vale la pena revisar aquí la terminología densidad de servicio telefónico y asociar con la banda de frecuencia más utilizada.

Esta información es presentada en la Tabla -1 y -2

TABLA - 1

<u>DENSIDAD</u>	<u>CAPACIDAD DE CANALES</u>
Baja	12/24/60/120
Media	300/600
Alta	960/1200/1800/2700

TABLA - 2

Densidad de la Capacidad en Términos de la Banda de Frecuencia

<u>Banda</u>	<u>Rango</u>	<u>Capacidad de Canales</u>
350 MHz	240-400 MHz	24
450 MHz	450-470 MHz	24
900 MHz	890-960 MHz	24/60/120
1.5 MHz	1435-1525 MHz	120/300
2 MHz	1790-2290 MHz	300/600/960/1800
4 MHz	3700-4200 MHz	600/960/1800
6 MHz	5925-6425 MHz	960/1200/1800
7 MHz	6425-7250 MHz	600/960/1200/1880/2700
11 MHz	10700-11700 MHz	960/1200/1800

También es de interés revisar brevemente los principios básicos del multiplexado, por el que un gran número de canales telefónicos son acomodados simultáneamente en un mismo medio de transmisión (portador).

El reagrupamiento es como sigue: 12 canales telefónicos de 4 KHz cada uno (el ancho de banda efectivo es 300-3400 Hz) son modulados por un oscilador local de 60 KHz para formar el grupo básico "A" que ocupa la banda entre 60-108 KH. El grupo básico "B" es obtenido modulando el grupo A por un oscilador local el cual puede ser de 114 KH; por esto el grupo B ocupa la banda entre 6 - 54 KH.

Conjuntamente el grupo básico "A" y "B" forman un sistema de 24 canales de capacidad donde la parte de ancho de banda abajo

de 6 KH es usado por el canal de servicio.

Cinco grupos (60 CH) forman un supergrupo básico que ocupa el ancho de banda entre 60-300 KH ó 312-552 KH dependiendo del sistema.

Cinco supergrupos (300 CH) forman un master grupo, mientras que seis mastergrupos forman un supergrupo maestro (1800 CH).

El ancho de banda ocupado por los supergrupos o mastergrupos y supergrupo maestro es llamado el Mux, mientras que la parte de ancho de banda abajo de 60 KH en muchos sistemas o abajo de 300 KH, en muchos otros es llamado la sub-banda base.

2.2 Sistemas Auxiliares

Los sistemas de M/O cuentan con equipos moduladores, transmisores, receptores y demoduladores. Entre tanto, en la operación de un enlace son necesarios muchos otros equipos auxiliares a fin de mantener la alta calidad del sistema y se pueda hacer un uso bastante efectivo del enlace.

Los equipos de energía constituyen un factor de fundamental importancia en el desempeño de los sistemas de radio y deben funcionar de modo de garantizar una alimentación confiable y dentro de límites preestablecidos, so pena de causar una interrupción de las transmisiones de todos los canales de radio que pasan por una determinada estación. Fig. - 6

Por otro lado, como en las estaciones repetidoras intermedias del sistema no existe personal técnico presente (estaciones no atendidas) se debe disponer de alguna forma de supervisión y control sobre los equipos instalados en aquellas estaciones. Esta información es transmitida a través de un enlace de con-

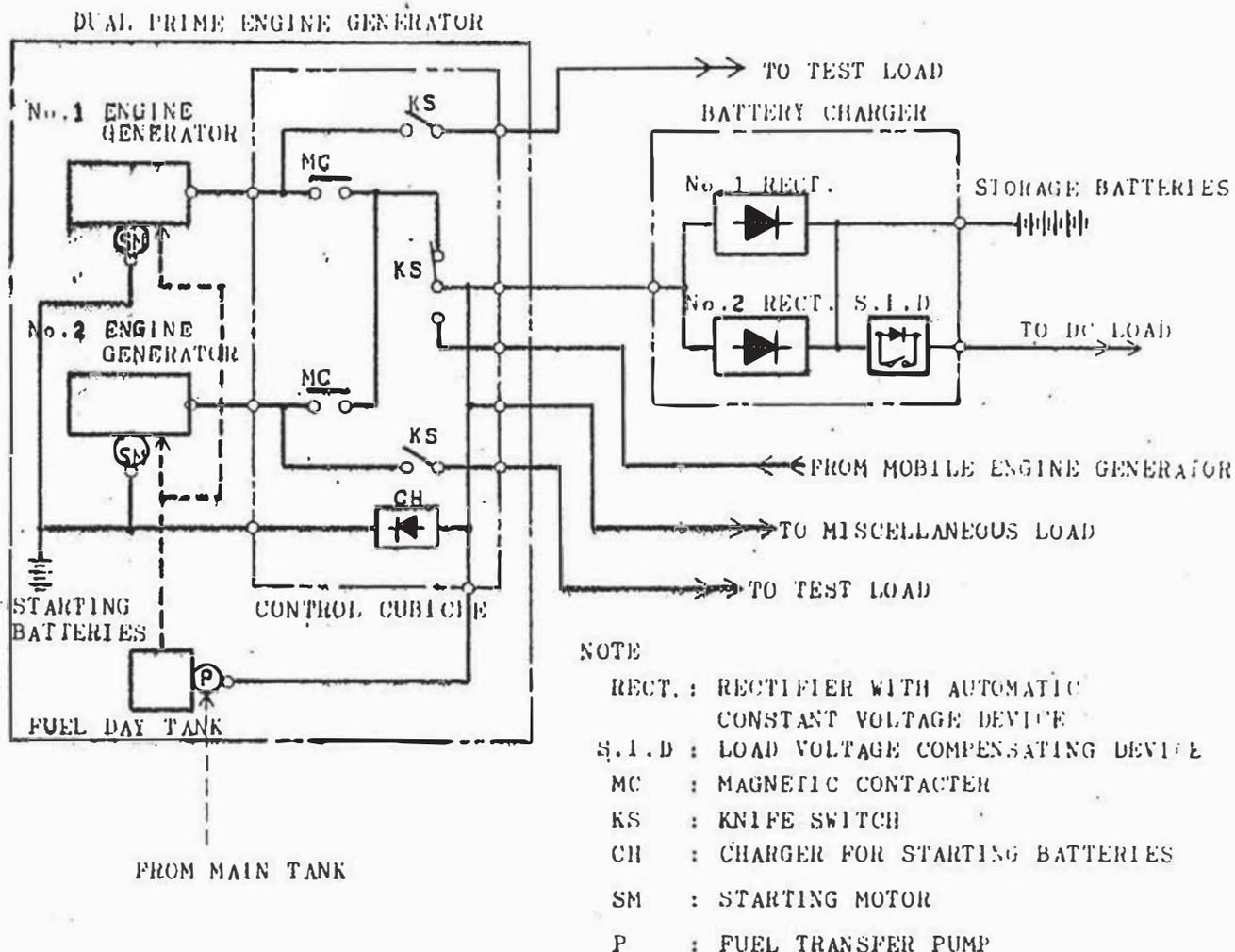


FIG. - 6 SISTEMA DE ALIMENTACION DE POTENCIA

control ya que los mismos son independientes de la señal de BB. Además de estas informaciones es necesario contar con un canal de voz que interligue todas las estaciones (terminales y repetidoras a fin de permitir las comunicaciones de servicio entre los equipos técnicos que realizan el mantenimiento del sistema. Existen básicamente dos formas de establecer el enlace de control: la primera consiste en utilizar la banda de frecuencia inferior a la ocupada por la BB. y transmitir por el mismo canal de radio. La otra manera de transmitir las informaciones auxiliares viene a ser utilizando un canal de radio independiente, con transmisio-

res y receptores distintos a los del canal q' conduce la BB. siendo este canal de baja capacidad y llamado canal de radio auxiliar. Fig. - 7

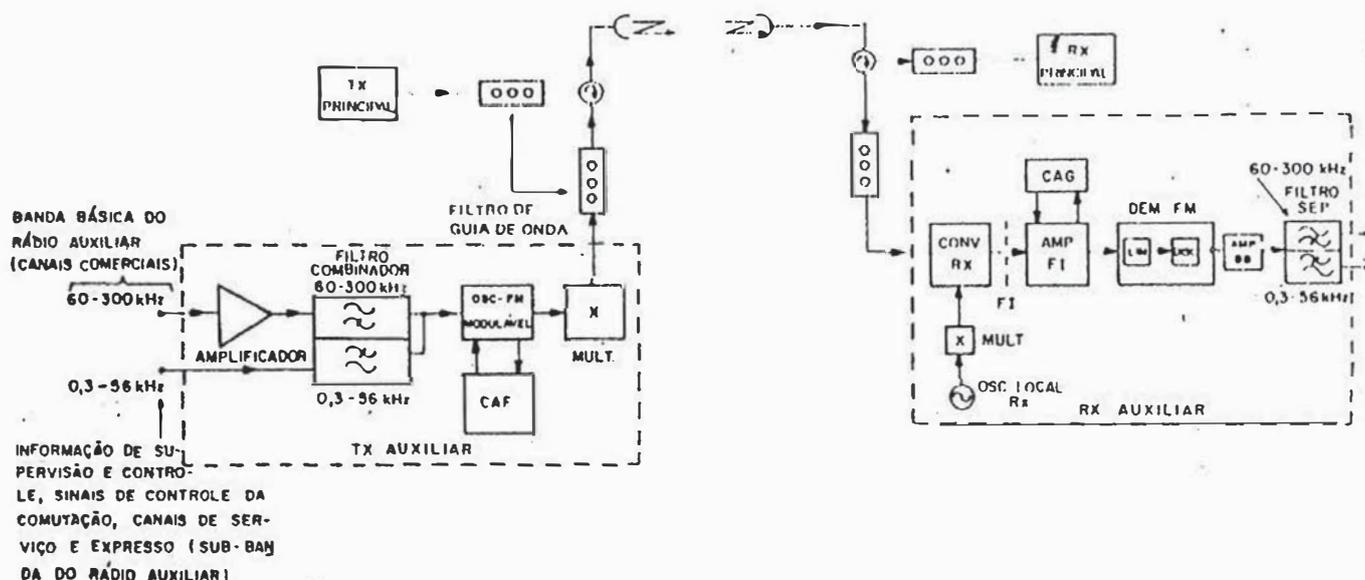


FIG. - 7 SISTEMA DE RADIO AUXILIAR - SHF.

3. Enlaces de radio multiplex VHF/UHF usados para pequena capacidad de transmisión

3.1 Composición del enlace.

Generalmente los sistemas multiplex VHF/UHF son usados en enlaces en los cuales no se requieren de mucha capacidad como en SHF. Algunas veces los sistemas VHF/UHF se usan también como líneas troncales entre ciudades de clase media o chica.

Las estaciones son dispuestas en Tandem o radialmente como se muestra a continuación. Fig. - 8

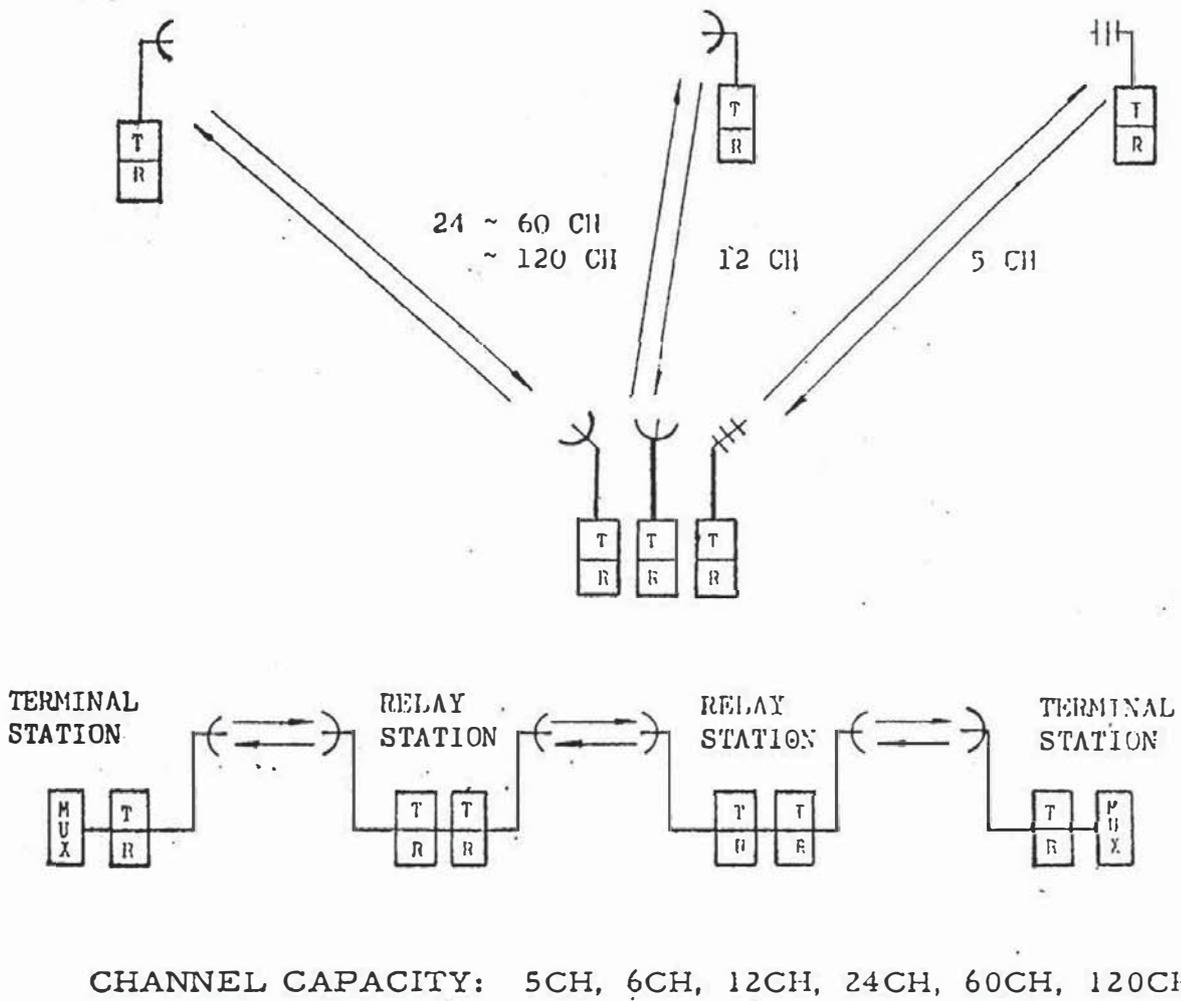


FIG. - 8 ENLACE VHF/UHF EN TANDEM
Y RADIAL

Los sistemas VHF/UHF son usados también en la derivación de canales de los enlaces SHF.

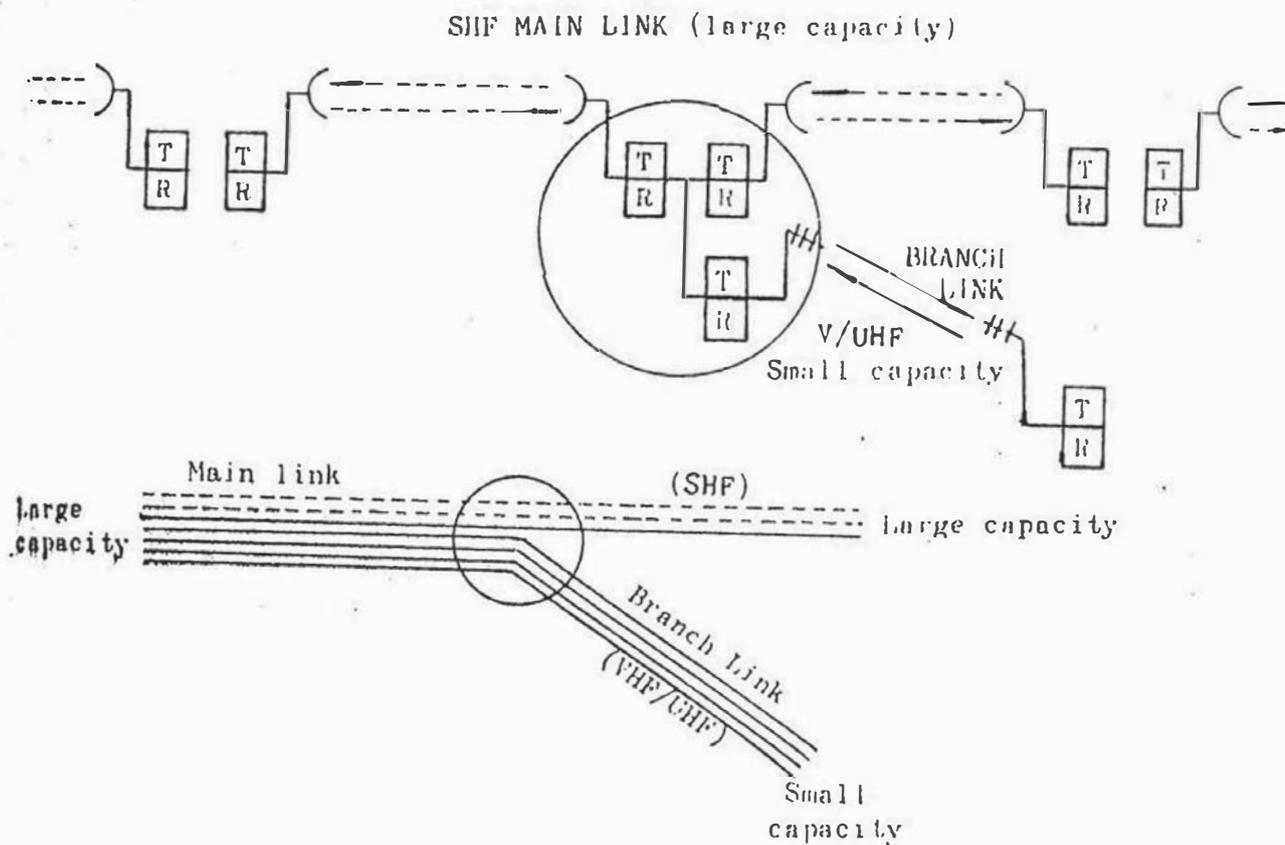


FIG. - 9 ENLACE VHF/UHF EN DERIVACION

3.2 Configuración del Sistema

El sistema de radio consiste del equipo de radio principal, equipamiento mux, equipo de supervisión, sistema de antena y sistema de energía.

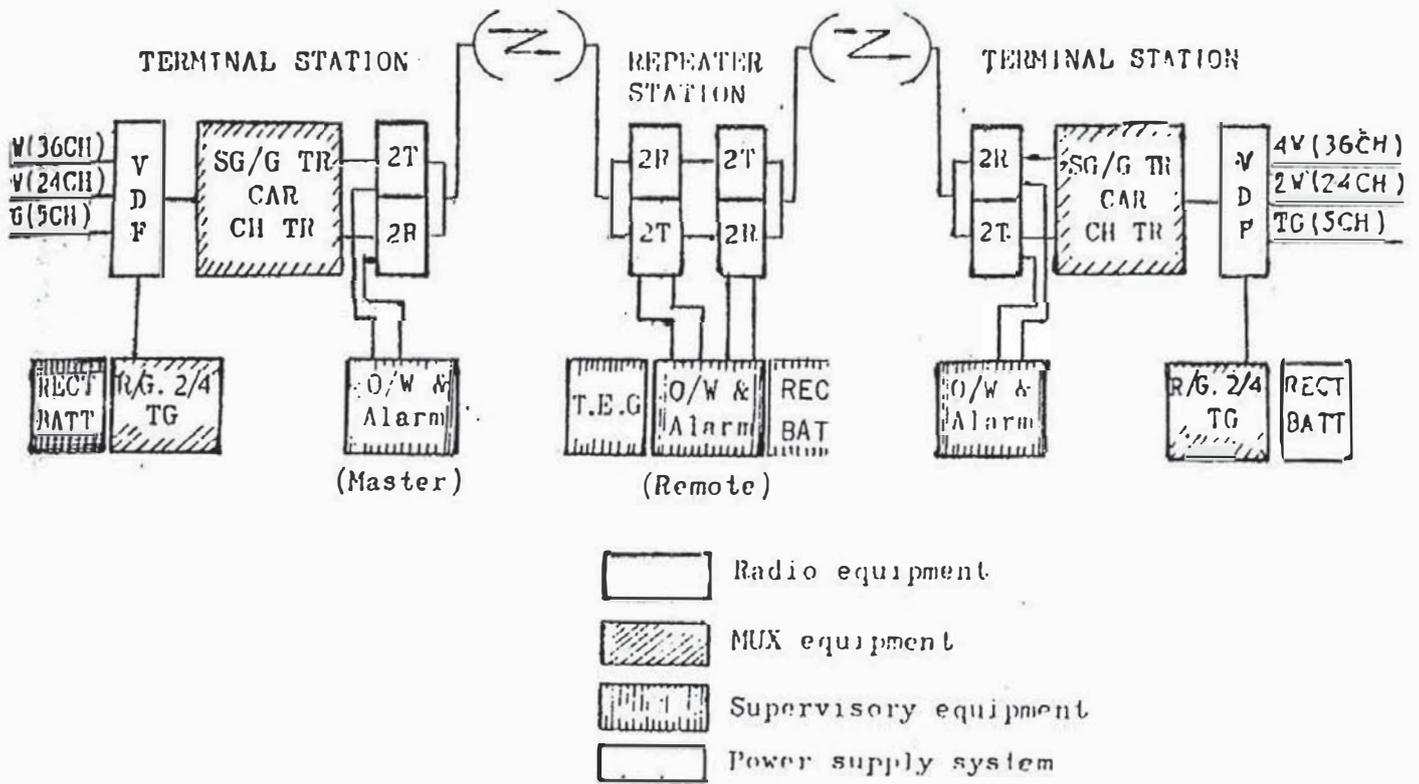


FIG. 10 CONFIGURACION DE UN ENLACE

3.3 Información Técnica

Resumimos los rasgos de un sistema estándar UHF de 60 CH.

a) Distancia típica de un Salto.Vs. Antena

• Radio frecuencia	335-470 MHz
Potencia de Tx	10 W.
Antena	
Antena parabólica de 4.2 mt. Ø	50-60 Km.
Antena parabólica de 3.0 mt.	50 Km.
Antena con reflector angular de 60°	30 Km.
Antena Yagi de 8 elementos	20 Km.
• Radio frecuencia	790-960 MHz
Potencia de Tx	5 W

Antena

Antena Parabólica de 3.0 mt. Ø	50-60 Km
Antena Parabólica de 1.8 mt. Ø	50 Km.
Antena Yagi de 12 elementos	20 Km.

Radio frecuencia 1427-1535 MHz

Potencia de Tx 2 W.

Antena

Antena Parabólica de 4.0 mt Ø	50 Km.
Antena Parabólica de 3.0 mt.Ø	40 Km.
Antena Parabólica de 2.4 mt.Ø	30 Km.

b) Requerimientos de Potencia DC.

Tipo de estación	Consumo de Potencia (Tx + Rx + MUX + S.V)
Estación terminal (Master) Tx, Rx: 1+1 completo	580 W
Estación repetidora Tx, Rx: 1+1 completo	260 W
Estación terminal (Remota) Tx, Rx: 1+1 completo	550 W.

c) Sistema de Radio.

El equipamiento consiste generalmente de dos receptores y dos transmisores. Los receptores siempre operan en paralelo. Los transmisores operan generalmente en una configuración de reserva fría con un control de conmutación automática.

Todos estos circuitos incluyendo el order wire y la unidad de alimentación, son montados en un rack estándar .

d) Sistema Portadora Multiplex.

Los sistemas de Portadora multiplex son diseñados teniendo en cuenta las especificaciones del CCITT para sistemas telefónicos de portadora multicanal.

Estos sistemas consisten de:

- . Unidades de canal de la terminal
- . Unidades de terminación de 2/4 wire
- . Unidades de canal Ring-Dow
- . Unidad de timbrada (apropiada para sistemas de conmutación de batería local o central y en la extensión de líneas de abonados).
- . Unidades de canal S + DX

4. Sistema UHF/PCM

4.1 General

El sistema PCM recientemente se ha difundido como un sistema excelente de transmisión y se espera un crecimiento notable. Este sistema ha sido estudiado desde 1937 y se le ha reconocido muchas características ventajosas comparado a otros sistemas.

4.2 Ventajas de los Sistemas PCM

Generalmente la calidad de las líneas PCM es excelente y la performance del sistema desde el punto de vista de costos y del hard ware son más económicas:

Comparado con los sistemas convencionales FDM (FM, PM) el sistema PCM tiene las siguientes ventajas:

- Uso efectivo de la radiofrecuencia

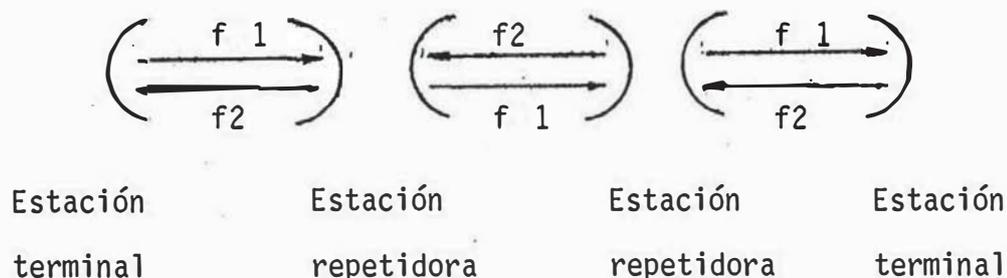
- . Se puede incrementar el uso de una misma frecuencia
- . El sistema PCM es resistente al ruido y la interferencia
- . Se puede aplicar el método de modulación multifase.
- . Disponibilidad de uso de ondas polarizadas

El espaciamiento de frecuencia (entre frecuencias adyacentes) puede ser más angosto. Para el caso de un radio multiplex de 6 canales, la figura de comparación entre PCM y FM se muestra a continuación:

Radio PCM	FM
2 ~ 2.6 MHz	3 ~ 4 MHz
(el roll off es 30 en 4 fases)	

- El ruido acumulado es muy bajo en enlaces Tandem porque la imposición de ruido en la banda base deteriora la calidad de los sistemas FDM pero no de los sistemas PCM; esto indica que los sistemas PCM son apropiados para redes en Tandem de larga distancia.

El uso repetitivo de una misma frecuencia se muestra a continuación:

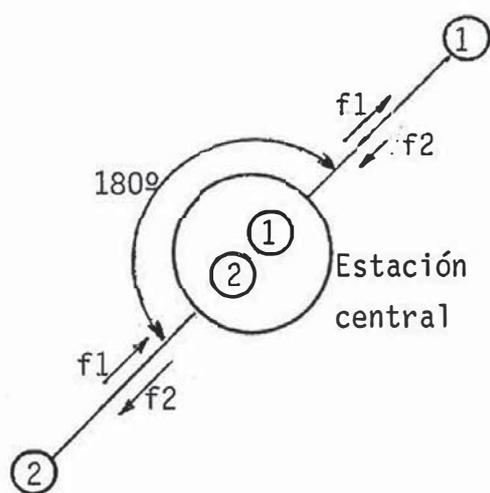


En una red conectada en estrella es difícil el uso de la misma frecuencia en el sistema FDM, pero cuando se aplica el sistema PCM la relación D/U necesaria se puede obtener fijando una

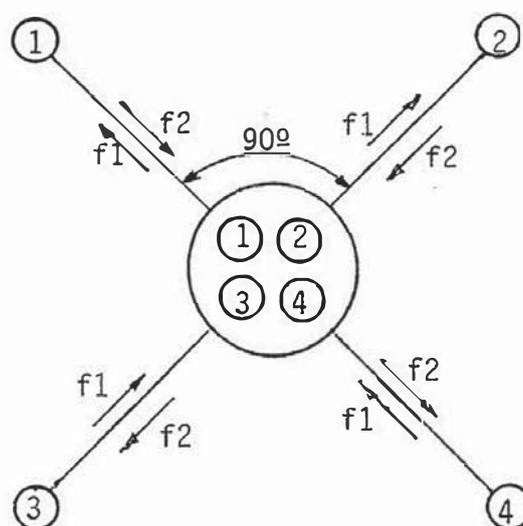
pérdida apropiada por acoplamiento de antena de espalda a espalda o de lado a lado.

También se puede ramificar un enlace en dos direcciones usando la misma frecuencia en la banda de 800 MHz o sobre cuatro direcciones en la banda de 1.5 GHz.

En la Fig. -11 se muestra la conexión de una red estrella para el sistema PCM



Radio frecuencia: 800 MHz
2 líneas de ramificación



Radio frecuencia: 1500 MHz
4 líneas ramificadas

FIG. - 11. RED CONECTADA EN ESTRELLA PARA SISTEMAS PCM.

Otras ventajas:

1. Privacidad de la comunicación
2. Fácil conexión con un cable PCM y Centrales PCM (Central electrónica) permitiendo una expansión económica de los sistemas.

5. Diseño de Enlace de Radio Multiplex VHF/UHF

5.1 Introducción.

La calidad de los enlaces de radio multiplex en la banda de 400, 800, 1500 MHz está determinada por dos factores: uno depende de las condiciones externas tales como la ruta de propagación de las ondas de radio y el otro depende de las condiciones internas tales como la performance de los equipos.

Aparte de estos dos factores, la condición externa depende del rasgo geográfico que puede ser controlado dentro de cierto límite por una ubicación apropiada de los terminales y facilidades de torres. También es necesario seleccionar apropiadamente la performance de los equipos aplicables tal como la potencia de transmisión, tipo de antena, etc. que están definidas como condiciones internas.

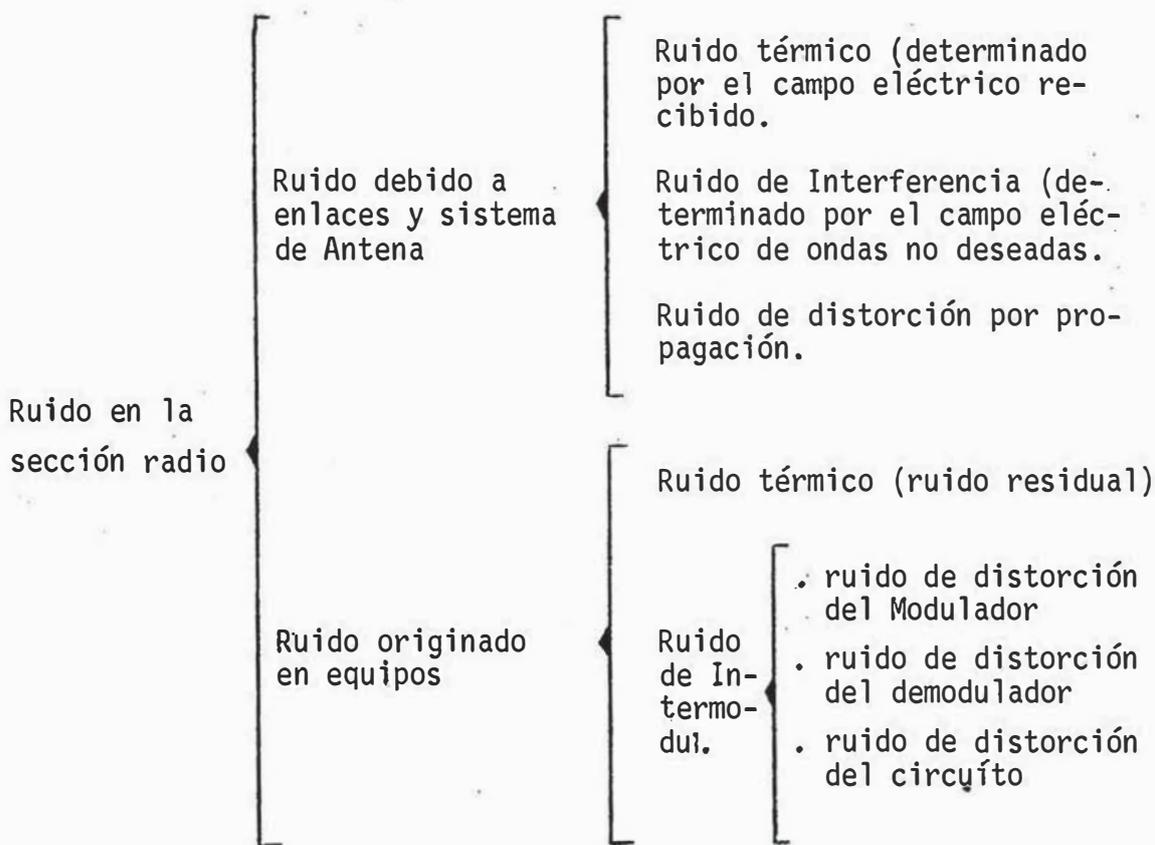
Para determinar la calidad de los enlaces, tomando en consideración las condiciones internas y externas mencionadas hacemos el siguiente análisis.

5.2 Calidad de los enlaces.

La calidad de los enlaces es esencialmente representada por la relación señal a ruido S/N (incluyendo diafonía debido a la distorsión en un canal telefónico/telegráfico) y la confiabilidad del enlace (incluyendo confiabilidad frente a desvanecimiento y falla de equipo), así la calidad de los enlaces se establece considerando principalmente los varios tipos de ruido que surgen de las condiciones externas e internas.

5.3 Tipo de Ruido.

Son: ruido térmico fluctuante incluido en el campo eléctrico recibido (depende de la ruta de propagación de las ondas de radio), ruido de interferencia generado entre sistemas de radio y, ruido de intermodulación generado por distorsión; se clasifican como sigue:



5.4 Diseño del Enlace.

En el diseño de un circuito es necesario calcular los ruidos antes mencionados y seleccionar los equipos y sistema de antena apropiados para una determinada calidad de los enlaces. El concepto standard de estos cálculos se muestra a continuación.

5.5 Características de los equipos.

a) Potencia de transmisión.

Se seleccionará la potencia de transmisión de acuerdo a la longitud de la trayectoria de propagación y la topografía, y a la necesidad de mejorar la confiabilidad por la adopción de equipos de estado sólido;

limitación:

Pt: 2 a 10 w (33 a 40 dbw)

en caso de circuitos totalmente de estado sólido.

b) Sistema de Modulación .-

En vista de la necesidad de obtener una estabilidad de frecuencia se usa la modulación de frecuencia con circuito AFC.

En los sistemas SS-FM, el índice de modulación (desviación de frecuencia) por canal se ha establecido por debajo de los siguientes valores, de acuerdo a las recomendaciones del CCIR y al número de canales del multiplex.

Fde (desviación efectiva)	24 CH	60 CH	120 CH
	35 KH	100 KH *	100 KH

* En la banda de 400 MHz este valor es de 50 KHz.

c) Ancho de Banda admisible.-(IF Band Width = B)

En caso del sistema SS-PM o SS-FM, se obtiene en función de la desviación de frecuencia y el número de canales multiplex por la siguiente ecuación:

$$B = 2 Fd + 2 fm$$

Donde:

B : Ancho de banda ocupado (KHz)

(Aprox. 95% banda de energía)

fm: Máxima frecuencia de modulación (KHz)

f_d : Máximo desvío de frecuencia (KHz)

f_d se obtiene de :

(sistema SS-FM) $f_d = LC \times F_{de}$ KHz

Donde: F_{de} es la desviación de frecuencia r.m.s. por canal

F_a : frecuencia mínima de la banda base (KHz)

F_b : frecuencia máxima de la banda base (KHz)

LC: es el factor de pico determinado del MUX de Canales.

Estos valores son mostrados a continuación de acuerdo al número de canales y Sistemas.

	SS - FM		
	12 CH	60 CH	120 CH
F_a (KHz)	12	60	60
$F_b (=f_m)$ (KHz)	108	300	552
T_x (KHz)	-		
LC	9.4	9.8	9.8
f_d (KHz) (LC x F_{de})	329	490	980
B (Aprox 95%) (KHz)	874	1580	3064

Estos valores son solamente ejemplos estandarizados y pueden ser diferentes dependiendo de los métodos usados, y de la banda base. En tal caso los valores apropiados pueden ser calculados de las ecuaciones anteriores. El ancho de banda IF mencionado anteriormente es F_b más una cierta cantidad de margen y puede ser mayor a los valores mencionados.

d) Figura de Ruido (NF)

Este es uno de los factores más importantes para determinar la

performance de los receptores. La figura de ruido varía con los transistores usados, pero normalmente está debajo de 8 db.

Si los transistores son de buena performance es posible reducir la figura de ruido a aproximadamente 5 db.

e) Potencia de ruido recibido (P_{rn})

Si se ha determinado los items C y D, la potencia de ruido recibido se obtiene de:

$$P_{rn} = 10 \log B + NF - 144 \text{ (dbm)}$$

Donde: B_{IF} : Ancho de banda de ruido equivalente del receptor (KHz)

NF : Figura de ruido (db)

Luego, el nivel umbral del receptor se obtiene de:

$$P_{th} = 10 \log B_{IF} + NF - 144 + 9 \text{ (dbm)}$$

El valor de 9 db se debe al factor pico de ruido.

f) Factor de corrección (I) de la relación S/N

Se calcula por la siguiente ecuación:

$$I = 10 \log (M_o^2 B/fs) \text{ (db)}$$

Donde fs : es el ancho de banda de la frecuencia de transmisión (3.1 KHz en el caso de la voz)

$$M_o \text{ (SS-FM)} : \frac{f_{de}}{f_m}$$

f_{de} = desvío de frec. r.m.s./canal (KHz)

f_m = frec. de medida en la banda base (KHz)

Aquí, I representa la relación S/N en el punto de entrada del receptor. Por tanto, la relación S/N en la entrada del receptor al nivel umbral será:

$$\frac{S}{N} (P_{th}) = I + 9 \text{ (db)}$$

Nota: Si el índice de modulación pico se pone a M_o , se obtiene:

$$I = M_o^2 \text{ fs}$$

g) Ruido residual recibido

Este ruido es generado en el modulador y el amplificador de la onda portadora y es menor que el nivel de la señal normal por aproximadamente 67 db a 70 db (200 pW a 100 pW) en sistemas FM.

h) Ruido de Intermodulación debido a distorsión

El ruido de intermodulación proviene de las distorsiones introducidas por los siguientes equipos: los moduladores, demoduladores y del circuito transreceptor. En el equipo de radio multiplex estos tres ruidos de intermodulación combinadas generalmente suman aproximadamente 200 pW (equivalente a 67 db de S/N) en sistemas FM.

5.6 Sistema de Antena.

A fin de obtener antenas apropiadas, es necesario seleccionarlas de acuerdo a las condiciones de la ruta de propagación de las ondas de radio. Generalmente hablando, se desea seleccionar antenas con una gran directividad a fin de evitar interferencias de otras ondas de radio.

a) Tipos de antenas.

Las características de las antenas que se pueden usar en las bandas de 400, 800, 1500 MHz se muestran a continuación:

	Ganancia absoluta db		
	400 MHz	800 MHz	1500 MHz
Antena Yagi de 8 elementos	10	12	--
Antena parabólica de 1.2 m Ø	--	17	--
" " 1.8 m Ø	--	20	--
" " 2 m Ø	--	--	27
" " 2.4 m Ø	--	23	--
" " 3 m Ø	18	24.5	30
" " 4 m Ø	--	--	33
" " 4.2 m Ø	21	27.5	--

b) Tipos de alimentadores

La pérdida causada en las líneas de alimentación que conecta la antena con el equipo de radio puede ofrecer una gran influencia en la calidad de las líneas dependiendo de las condiciones de la terminal y la torre. Por tanto es conveniente seleccionar las líneas de alimentación apropiadas. A continuación se muestra las características de las líneas de alimentación más representativas.

Tipo de alimen tador	Atenuación db/m		
	400 MHz	800 MHz	1500 MHz
RG-8/U	0.140	0.230	--
RG-17/U	0.072	0.120	--

...

Tipo de alimentador	Atenuación db/m		
	400 MHz	800 MHz	1500 MHz
10D-2V	0.10	0.16	--
AF (ZE) 50-7	0.038	0.056	--
SF (ZE) 50-7	0.028	0.044	0.062
SF (ZE) 50-9	0.023	0.035	0.042
SF (ZE) 50-13	0.017	0.026	0.036
SF (ZE) 50-13 W	0.016	0.024	0.034

c) Duplexer

En la banda de 400 MHz los equipos de radio multiplex en general usan una antena común para transmisión y recepción y requieren de un circuito común para este fin. Es práctica usual formar un duplexer uniendo los filtros para transmisión y recepción formando un circuito ramificado tipo T. La pérdida (L_d) que ocurre en el duplexer es aproximadamente 4 a 6 db y mucho de la pérdida proviene de los filtros.

5.7 Pérdida de Propagación (L_p)

La pérdida de propagación está determinada por las condiciones topográficas del trayecto y varía considerablemente desde rutas con línea de vista a otro que tenga por ejemplo una montaña de difracción.

a) Pérdida por espacio libre (L_{fs})

La pérdida de propagación que ocurre cuando existe espacio libre para la primera zona de Fresnel, se expresa como sigue:

$$L_{fs} = 20 \log \frac{4 \pi d}{\lambda} \quad (\text{db})$$

donde:

d = es la distancia entre los dos puntos (m)

λ = es la longitud de onda

b) Pérdida de difracción montañosa (L_r)

Cuando hay un obstáculo tal como una montaña en la trayectoria la pérdida por difracción es generalmente calculada por el cronograma de Bullington.

c) Pérdidas por obstáculo

La profundidad de la zona de Fresnel en el punto central de la ruta de propagación está determinada por la distancia del tramo y la longitud de onda de la frecuencia de operación: las pérdidas por obstáculo toma en cuenta las pérdidas de obstrucción por montañas en la trayectoria de transmisión en función a la profundidad de obstrucción de la zona de Fresnel.

A fin de obtener los valores de estas pérdidas es necesario dibujar un perfil de ruta de propagación usando un mapa en una escala mayor a 1/50,000 y totalizar los valores de los items a, b y c. Como en los casos reales hay obstáculos que no aparecen en los mapas tal como árboles y edificios, se considera útil realizar pruebas de propagación para confirmar las pérdidas cuando la topografía sea compleja.

5.8 Ruido de Interferencia

El ruido de interferencia se produce por la presencia cercana de ondas de radio de otros sistemas o por el equipamiento de la

misma estación. En tales casos la relación S/N debido a la interferencia se obtiene de la siguiente ecuación de acuerdo a las magnitudes de las ondas deseadas (D) y de las ondas no deseadas (U)

$$\frac{S}{N} = 10 \lg \frac{D}{U} + I + (S + 10) - 3 \text{ db}$$

Donde:

I: Factor de corrección de S/N (db)

S: Selectividad efectiva del receptor (db)

5.9 Desvanecimiento .

La confiabilidad de los enlaces indican la forma en que se mantiene estable la calidad de los enlaces por un período largo de tiempo, y se evalúan enfrente de las fluctuaciones de la intensidad de campo a lo largo del trayecto de propagación por condiciones del clima y las estaciones. En general se considera que el desvanecimiento representativo en la banda de 300-1000 MHz es por la formación de ductos (duct-type).

Las pérdidas debido a los desvanecimientos en términos de factores de tiempo de 99.9% y 99.5% es dado por:

$$L_F (99.5\%) = 0.2 \times d \quad (\text{db})$$

$$L_F (99.95\%) = 0.2 \times d + 3 \quad (\text{db})$$

donde, d es la distancia del trayecto de propagación (Km).

5.10 Cálculos Prácticos en el diseño de enlaces (calidad: S/N)

El ruido térmico que es determinado por el enlace y el sistema de antena, se calcula de la siguiente ecuación teniendo en cu

ta los conceptos fundamentales mencionados anteriormente.

$$\frac{S}{N} = P_t - (L_p + L_f + L_d) + G_a - P_{rn} + I \quad (\text{db})$$

Donde:

P_t : Potencia de transmisión (dbm)

L_p : Pérdida de propagación ($L_f + L_r + L_s$) (db)

L_d : Pérdida del duplexor (db)

L_f : Pérdida del alimentador (db)

G_a : Ganancia de antena ($G_r + G_z$) (db)

P_{rn} : Potencia del ruido recibido

$$(10 \lg B + NF - 144) \quad (\text{dbm})$$

I : Factor de corrección de S/N

$$(10 \lg M_o^2 B/f_s) \quad (\text{db})$$

También la confiabilidad está considerada por el hecho de que la potencia de transmisión está dentro del siguiente rango

$A + 10 \text{ db} > P_o > A$ esto indica que $10 \text{ db} > C/N > 0$, incluyendo la condición de desvanecimiento.

$$A \text{ (dbm)} = (L_p + L_f + L_d + L_f) - G_a + P_{th} \quad (\text{db})$$

Donde: L_f : Pérdida por desvanecimiento (db)

P_{th} : Nivel umbral ($P_{rn} + 9 \text{ db}$)

La ecuación sobre S/N es expresada en términos del nivel umbral como

$$\frac{S}{N} = P_t - \overbrace{(L_p + L_f + L_d)}^{\text{total de pérdidas}} + G_a - P_{th} + \underbrace{(I + 9)}_{\text{S/N al nivel umbral}} \quad (\text{db})$$

Aquí la relación S/N para (99.5%) y (99.9%) de confiabilidad se considera que consiste del total de pérdidas más L_f (pérdida por desvanecimientos).

6. Aplicación.

Consideramos un equipo de radio multiplex de estado sólido TR - 400-D-24 (para enlace de larga distancia)

En lo que sigue, la potencia de ruido se calcula de acuerdo a la relación S/N asumiendo que el nivel de la señal es igual a 0 dbm (1 mw). En el caso de un canal telefónico, la conversión a un valor ponderado, se hará cuando se haya totalizado el ruido.

6.1 Especificaciones Sistema FM de 24 canales

- a) Potencia de transmisión: $P_t = 10 \text{ w (+ 40 dbm)}$
- b) Modulación: Sistema de 24 CH, 35 KH r.m.s. / CH
- c) Ancho de banda IF $B_{IF} = F_B + 326 = 874 + 326 = 1200 \text{ KHz}$
- d) Figura de Ruido $NF = 8 \text{ db}$
- e) Potencia de ruido $P_{rn} = 10 \lg 1200 + 8 - 144 = -105.2 \text{ dbm}$
recibido
Nivel umbral $P_{th} = P_{rn} + 9 = -96.2 \text{ dbm}$
- f) Factor de mejora de S/N $I = 10 \lg (m_o^2 B / f_s)$
 $= 10 \lg (0.324)^2 \times 1200/3.1 = 16 \text{ db}$
 $M_o = \frac{35 \text{ KHz}}{108 \text{ KHz}} = 0.324$
- S/N a nivel umbral $\frac{S}{N} (P_{th}) = I + 9 = 27 \text{ db}$
- g) Ruido residual recibido Menor que el nivel de S en 70 db
(= 100 pW)
- h) Ruido de Intermodulación (considerado en el peor canal)

Ruido de distorción del Mod. menor que el nivel de S por
71.2 db (= 75 pW)

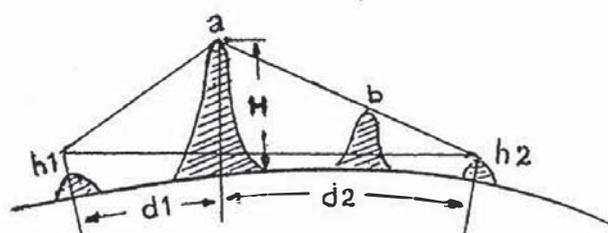
Ruido de distorción del Dem. menor que el nivel de S por
71.2 db (= 75 pW)

Ruido de dist. del circuito menor que el nivel de S por
73 db (= 50 pW)

Total: Menor que el nivel de S por 67 db (= 200 pW)

6.2 Pérdida de Propagación

Asumimos el siguiente modelo para los cálculos de propagación



$$d_1 = 10 \text{ Km}$$

$$d_2 = 20 \text{ Km}$$

$$H = 15 \text{ m.}$$

$$f = 400 \text{ MHz}$$

$$(\lambda = 0.75 \text{ m})$$

a) Pérdida de espacio libre

$$L_{fs} = 20 \lg \frac{4 \pi (d_1 + d_2)}{\lambda}$$

$$= 20 \lg \frac{4 \times 3.14 \times 30,000 \text{ (m)}}{0.75 \text{ (m)}} = 114 \text{ db}$$

b) Pérdida de difracción

$$L_r = 9 \text{ db (Obtenido de la Fig. — 12) para } K = 4/3$$

c) Pérdida por sombreado

$$L_s = 6 \text{ db (obtenido de la Fig. — 13)}$$

De consiguiente, la pérdida de propagación puede ser calcu-

tada como sigue:

$$L_p = L_{fS} + L_r + L_s = 129 \text{ db}$$

6.3 Selección del sistema de Antena

Si el sistema de antena se selecciona para hacer que la relación S/N sea aproximadamente de 50 db debido al ruido térmico, y considerando la pérdida de propagación obtenida en el ítem anterior, se deduce lo siguiente:

$$\begin{aligned} S/N &= 50 \text{ (db)} = P_o - (L_p + L_f + L_d) + G_a - P_{rn} + I \\ &= 40 \text{ (dbm)} - 129 \text{ (db)} - L_f - 3 \text{ (db)} + G_a \\ &\quad - \left\{ - 105.2 \text{ (dbm)} \right\} + 16 \text{ (db)} \end{aligned}$$

De lo anterior obtenemos

$$G_a - L_f = 20.8 \text{ db}$$

Aquí, si se usa un alimentador tipo RG - 17/U de 100 m se obtiene

$$G_a = 20.8 + 7.4 = 28.1 \text{ db}$$

Así convendrá instalar antenas parabólicas de 16 db de ganancia en ambos puntos de tal forma que $G_a = 16 \times 2 = 32 \text{ db}$.

6.4 Ruido de Interferencia

En este modelo asumimos 800 KHz como la onda no deseada (U) (muy cerca a las ondas deseadas) con un nivel 10 db más bajo que las ondas deseadas (D) y la selectividad efectiva del receptor a esta frecuencia como 35 db.

$$\begin{aligned} \frac{S}{N} &= 10 \lg \frac{D}{U} + I + (S + 10) - 3 \\ &= 10 \text{ db} + 16 \text{ db} + \left\{ 35 \text{ (db)} + 10 \text{ (db)} \right\} - 3 \text{ (db)} \\ &= 68 \text{ db} \end{aligned}$$

6.5 Pérdida por desvanecimiento

Si consideramos el modelo mostrado obtenemos:

Para un factor de 99.5% de pérdidas por desvanecimiento $L_F = 0.2 \times (d1 + d2) = 6 \text{ db}$

Para un factor de 99.9% de pérdidas por desvanecimiento $L_F = 0.2 (d1 + d2) + 3 \text{ db} = 9 \text{ db}$

Tabulamos los resultados obtenidos:

- Frecuencia	400 MHz (FM)
- Capacidad de transmisión de canales	24
- Índice de Modulación (Mo)	35 KHz/ r.m.s.
- Ancho de banda de recepción (B)	1200 KH
- Figura de ruido (NF)	8 db
- Potencia de ruido recibido (Prn)	- 105.2 dbm
- Nivel umbral (Pth)	- 96.2 dbm
<hr/>	
- Factor de corrección de S/N (I)	16 dbm
- S/N a nivel umbral	75 db
<hr/>	
- Distancia de propagación	30 Km
- Pérdida de espacio libre (L_{fS})	114 db
- Pérdida de difracción (L_r)	9 db
- Pérdida por obstáculo (L_s)	6 db
- Pérdida total de propagación (L_p)	129 db
<hr/>	

- Ganancia de Antena (Ga) 32 db (16 + 16 db)
 - Pérdida del Alimentador (L_f) 7.4 db
 - Pérdida del Duplexer (Ld) 3 db
 - Potencia de Recepción (Prin) -67.4 dbm.
-

$$\text{Factor de 50\% } (Pt + Ga - Lp - L_{fS} - Ld) \\ -73.4 \text{ dbm.}$$

$$\text{Factor de 99.5\% } (Pt + Ga - Lp - L_f - Ld - L_F) \\ -76.4 \text{ dbm.}$$

- S/N por canal (no ponderado) 53.8 db
-

$$\text{Factor de 50\% } (Prin - Prn + I) \\ 47.8 \text{ db}$$

$$\text{Factor de 99.5 \%}$$

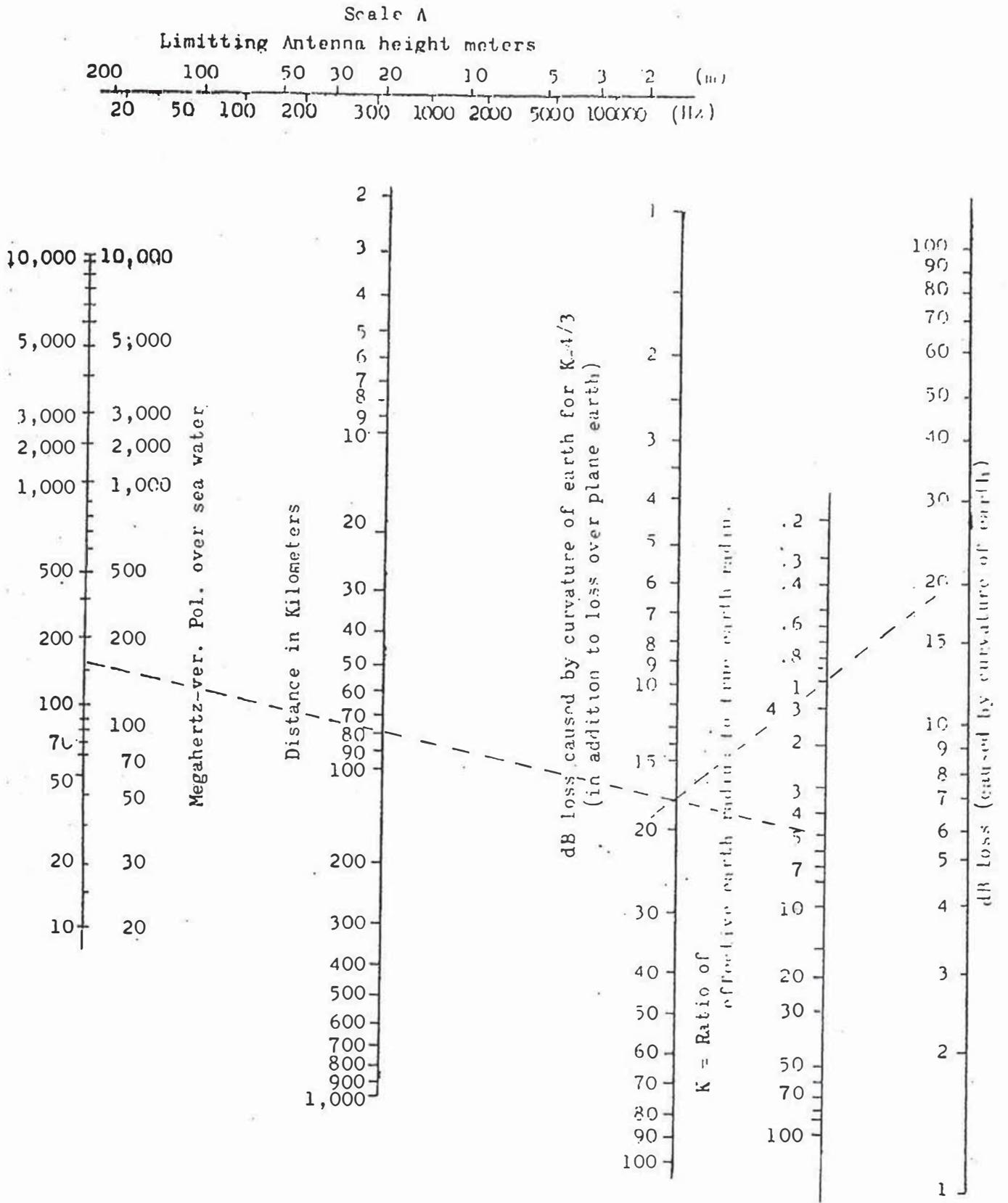


Fig. - 12 Diffraction Loss caused by curvature of the earth assuming neither antenna height is higher than shown on scale A.

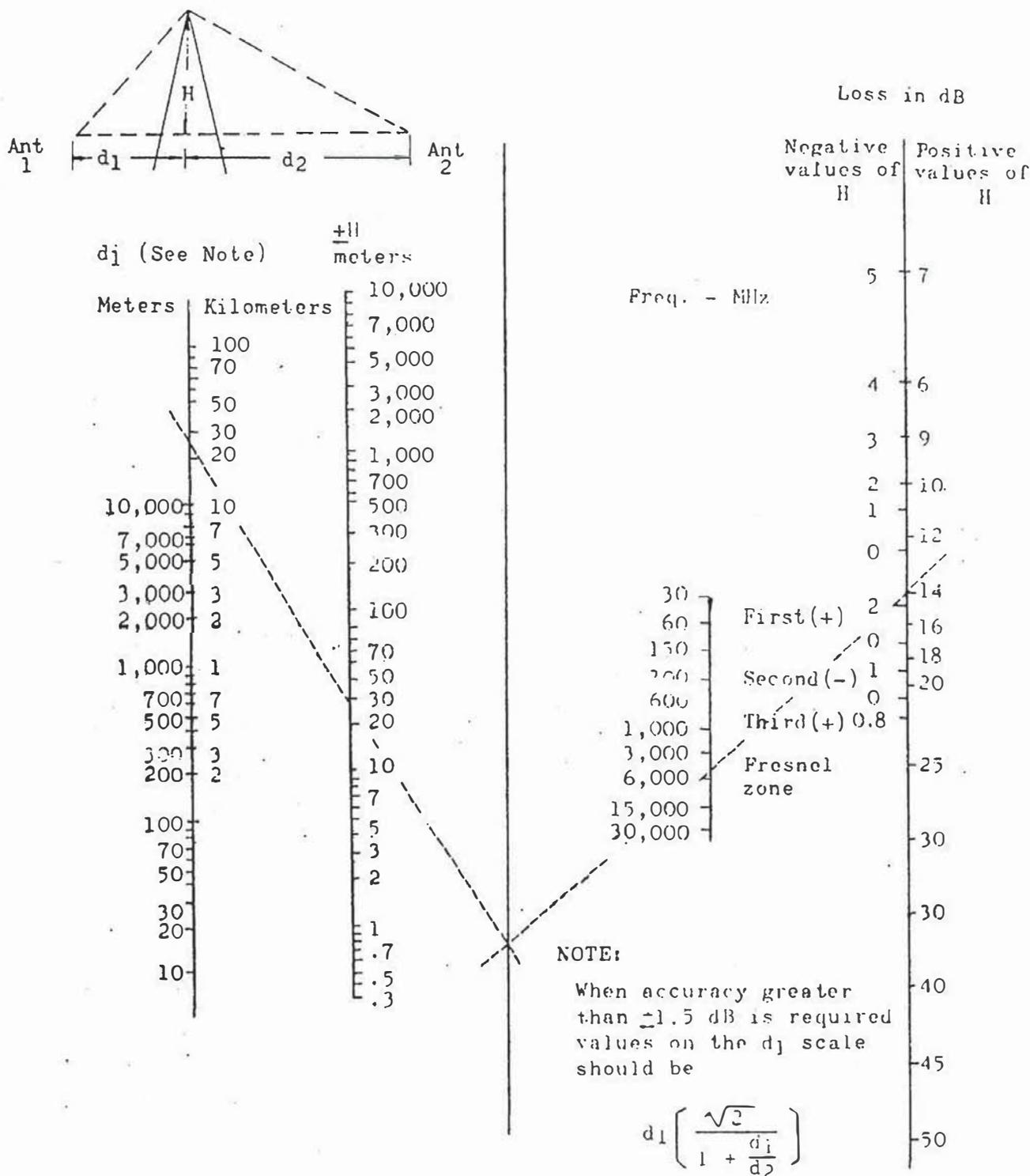


Fig. - 13 Shadow Loss Relative to free space.

A.2 SISTEMAS SATELITALES.

1. CONSTITUCION DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR SATELITE Y SERVICIOS PRINCIPALES.

Un sistema de comunicaciones por satélite consiste de los siguientes elementos:

- . El satélite geoestacionario (un activo + una reserva)
- . Una estación de control del satélite en órbita TTC/M
- . El espacio libre
- . Diferentes tipos de estaciones terrenas
- . Enlaces entre estaciones dentro del área de cobertura del satélite
- . Interfases con enlaces terrestres.

Los servicios principales provistos son:

- . Telefonía: - Enlaces troncales de punto a punto en vez de, o en adición a enlaces terrestres
 - Tráfico medio/bajo de punto a punto (telefonía rural)
- . Datos: - Enlaces de punto a punto, punto a multipunto de telex-facsímile entre centros de procesamiento, etc.
- . TV y Radio - Distribución de programas de TV y radio a centros de radiodifusión (punto a multipunto)
 - TV directa a comunidades y/o a receptores individuales.

- . Servicios Especiales
 - Video conferencias (alta calidad y barrido lento), audio conferencias
 - Enlaces con unidades móviles (barcos, carros, aviones)
 - Enlaces para casos de desastre.

2. COMPORTAMIENTO DE LOS CIRCUITOS ESTABLECIDOS MEDIANTE ENLACES POR SATELITE.

Tiempo de Propagación y Ecos.- En los enlaces por satélite la señal está sujeta a un tiempo de propagación considerable debido al trayecto radio eléctrico que depende principalmente de la altura de los satélites y del número de enlaces (o saltos) tierra-espacio-tierra que constituyen la conexión.

El tiempo de propagación correspondiente al trayecto tierra-espacio es:

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

donde: r = radio de la tierra
h = altitud del satélite
= ángulo formado entre la E.T. y el Satélite con vértice en el centro de la Tierra.

$$R = r + h$$

En el Cuadro - 3 se indican los tiempos de propagación medios en una sola dirección para enlaces de uno o varios saltos, admitiendo 30 ms. de tiempo complementario para los circuitos terrenales.

CUADRO - 3

Número de saltos	Satélite estacionario (altura - 36,000 Km)
1	290 ms
2	550 ms.
3	-

El CCITT recomienda como objetivo de calidad de funcionamiento de la red, 400 ms. como el tiempo medio de propagación límite en un sentido cuando existan fuentes de eco y se utilicen dispositivos adecuados tales como supresores o compensadores de eco. Por consiguiente sólo en casos excepcionales una conexión puede ser establecida mediante dos saltos por satélite.

Condiciones de Propagación.- Las señales que son transmitidas por la estación terrena hacia el satélite y del satélite hacia la estación son afectadas por la atmósfera terrestre. A la frecuencia de interés (4/6 GHz y 12/14 GHz) el efecto de la ionósfera es depreciable para el efecto de la baja atmósfera es importante.

La atmósfera degrada la comunicación vía satélite en dos formas: atenúa la señal y eleva el ruido captado por la antena:

a.- Atenuación atmosférica

La absorción en la tropósfera es debido principalmente al oxígeno molecular, vapor de agua, lluvia, neblina y nubes. La absorción debida a los dos primeros elementos es relativamente constante y para frecuencias menores de 15 GHz es menor que

0.20 db a una mínima elevación de 15° (Fig. — 14).

La absorción debida a la lluvia, neblina y nubosidad es más significativa. Para una lluvia intensa, 16 mm/Hora y con una elevación de 15° es el orden de 1 db para la banda de 4/6 GHz y 10 db para la banda de 12/14 GHz. Para una alta nubosidad o neblina, con una elevación de 15° se tiene 0.5 db para la banda de 4/6 GHz y 5 db para la banda de 12/14 GHz.

Para realizar un estimado de la atenuación total se puede considerar lo siguiente:

- . Atenuación máxima de 0.2 db causada por oxígeno molecular y vapor de agua.
- . Atenuación debida a la lluvia por medio del modelo siguiente: existe una correlación alta entre el porcentaje de nubosidad y neblina con respecto a la precipitación. Por lo tanto es posible asumir que al incluir el efecto de la lluvia, que es el más intenso, en la estimación de la atenuación total se está considerando el peor de los casos.

La estimación de la atenuación debido a la lluvia se puede calcular en base a un modelo empírico, verificado por muchos trabajos teórico-experimentales, dado por:

$$\gamma_R(\theta) = \gamma_R \cdot L_R(\theta)$$

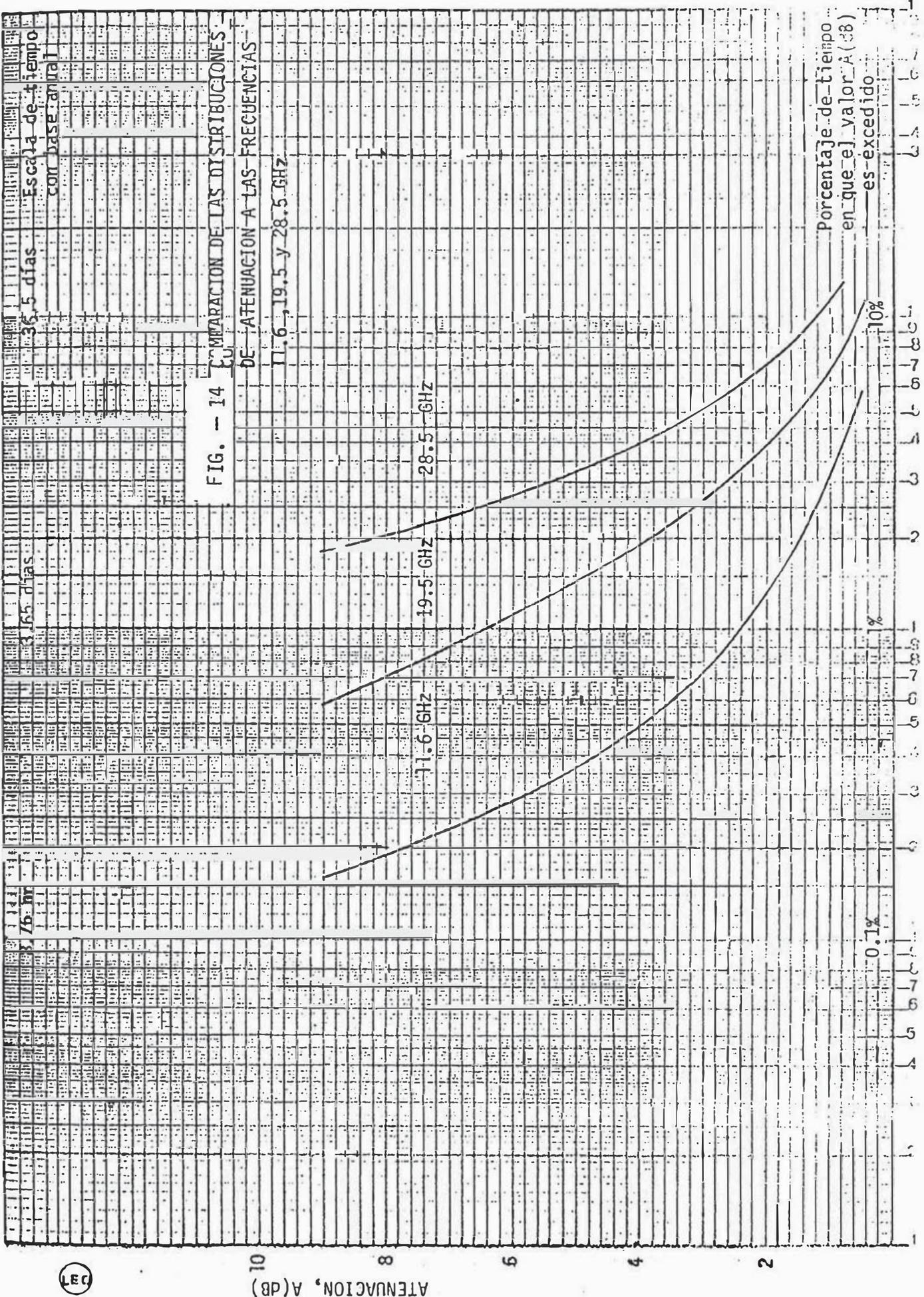
γ_R : es el coeficiente de atenuación por lluvia que es representado como:

$$\gamma_R = a R^b \quad (\text{Fig. — 15})$$

a, b : coeficientes que dependen de la frecuencia

SEMI LOGARITMICO 4 x 10

F E C H A



(38)

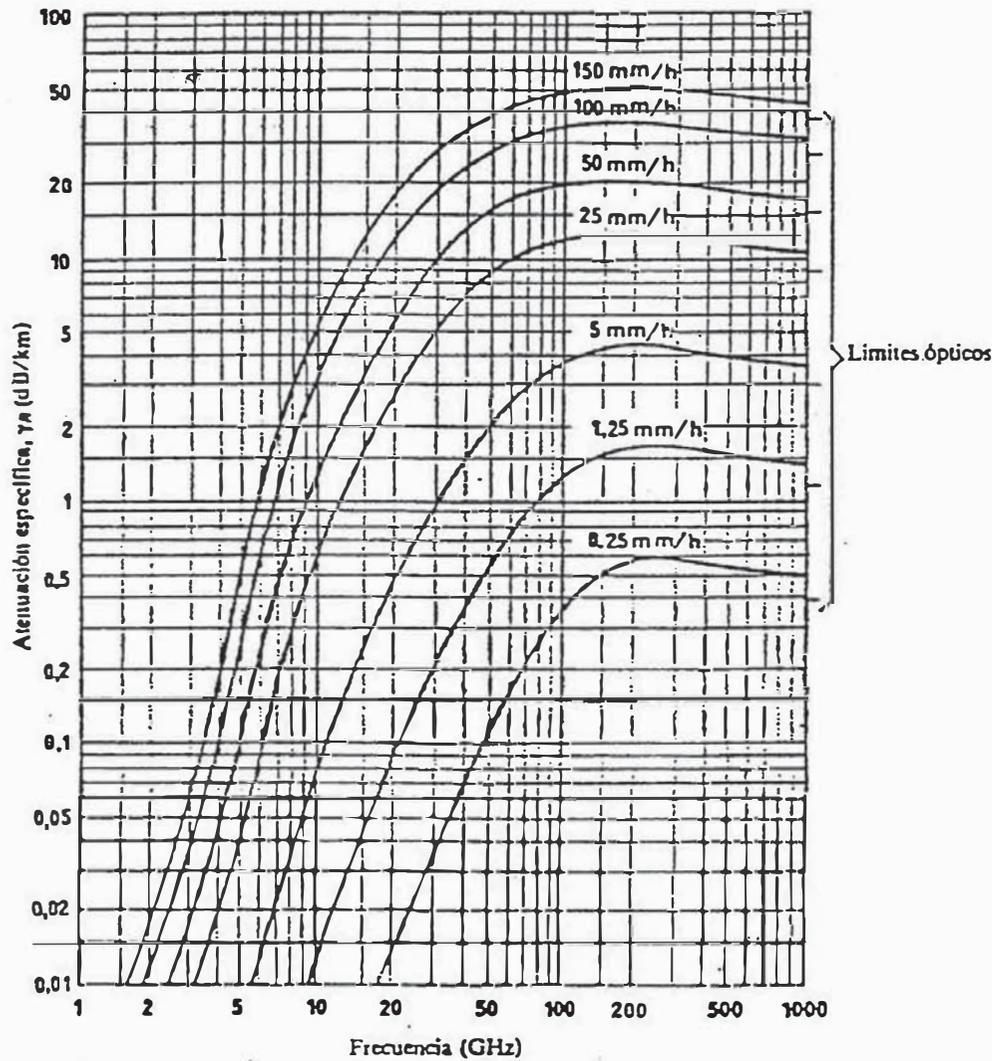


FIG. - 15 Atenuación específica, γ_R debida a la lluvia

Distribución del tamaño de las gotas de lluvia [Laws y Parsons, 1943]
 Velocidad terminal de las gotas de lluvia [Gunn y Kinzer, 1949]
 Índice de refracción del agua a 20° C [Ray, 1972]
 Gotas esféricas

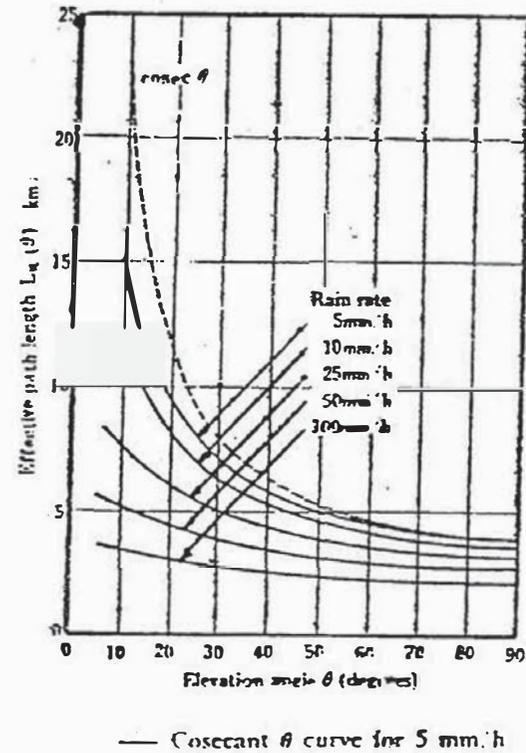


Fig. - 16 Effective path lengths based on data in Europe and North America

$L_R (\theta)$: es la longitud efectiva de la trayectoria a través de la lluvia. Fig. - 16

b.- Temperatura de ruido de la antena

La temperatura de antena es consecuencia de la energía radiante colectada por la antena y depende principalmente del ruido cósmico, de la atmósfera, del ángulo de elevación, del patrón de radiación y la temperatura del terreno, tal como se ilustra en la Fig. - 17

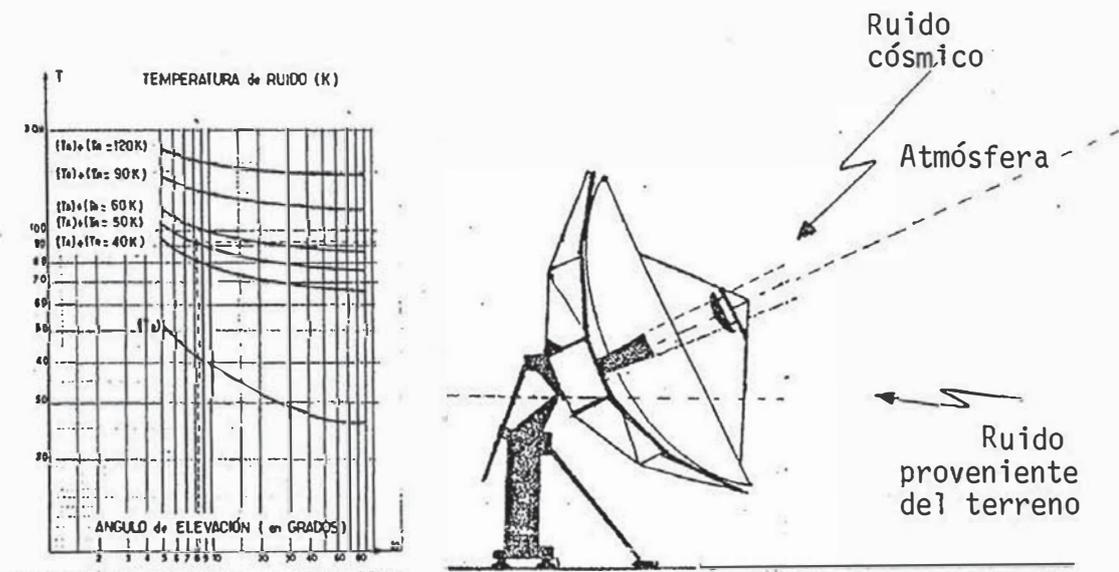


Fig. - 17 Temperatura de Antena

La temperatura de ruido (T_a) de una antena está dada por la siguiente ecuación:

$$T_a = \frac{1}{4} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} T(\theta, \phi) \cdot G(\theta, \phi) \cdot \text{Sen } \theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

donde: $G(\theta, \phi)$: es la ganancia de la antena en la dirección (θ, ϕ)

$T(\theta, \phi)$: es causada por la absorción de las moléculas

de vapor de agua y oxígeno en la atmósfera, por la temperatura de ruido radiada por la Tierra y por fuentes de ruido cósmico.

La temperatura $T(\theta, \phi)$ como se ilustra en la Fig. - 17 es compleja por las diferentes fuentes de radiación que la originan. Se sabe que en condiciones de equilibrio térmico todo cuerpo que absorbe energía irradia la misma cantidad de energía. Este argumento es aplicable para la atmósfera y la Tierra, circundantes a la antena de la estación terrena.

La temperatura de ruido debido al espacio cósmico y a la atmósfera es:

$$T. \text{ espacio} = T_c + (Lat - 1) T_{at} \text{ } ^\circ K$$

$$T. \text{ cielo} = T_m (1 - 10^{-\tau_a(\theta)/10}) \text{ } ^\circ K$$

donde: T_0 = Temperatura de la superficie

$$T_m = 1.12 T_0 - 50 \text{ } ^\circ K$$

τ_a = atenuación a lo largo de la ruta de propagación con ángulo de elevación θ por absorción.

En la práctica $T. \text{ cielo}$ es relativamente pequeño y puede ser ignorada a menos que la antena ilumine el Sol, la Luna o ciertos nebulosos tales como Casiopea, Taurus A y Cygnus A.

La temperatura del Sol varía desde 23,000° K a 90,000° K según las manchas solares e interrumpe los sistemas de satélite por períodos cortos predecibles.

Los desvanecimientos producidos por el Sol que afectan a las estaciones terrenas, ocurren en los períodos correspondientes al equinoccio de primavera y al equinoccio de otoño, cuando las posiciones orbitales del Sol, Tierra y satélite son tales que la an-

tena de la estación terrena está mirando directamente al Sol. Geométricamente significa que los ángulos de azimuth y elevación de la antena del satélite y de la antena al Sol son iguales y coincidentes. Cuando esto ocurre, la temperatura de ruido del sistema se incrementa a un gran valor, dejando a la estación fuera de servicio por un corto tiempo.

Los equinoxios son aquellos puntos sobre la superficie terrestre donde la línea ecuatorial y la elíptica se interceptan.

La Fig. — 18 muestra las posiciones relativas de estas líneas y los planos sobre la superficie terrestre, así como la órbita del Sol. En los equinoxios de primavera y otoño, el Sol apunta directamente sobre el Ecuador en su aparente movimiento Norte-Sur. Por consiguiente, cualquier antena sobre la superficie terrestre mirando a su punto sobre el Ecuador, estará apuntando al Sol o muy cerca de él, por algunos minutos durante el día de estos períodos del año.

Las fechas exactas del año cuando las coincidencias regulares entre el Sol y la antena ocurren, pueden ser derivadas rápidamente con ayuda de las efemérides del Sol, que son tabulaciones de las posiciones del Sol, relativas a ciertos puntos de referencia como una función de la fecha. Los datos básicos necesarios para tal fin son la longitud y latitud de la ubicación de las estaciones terrenas, así como los ángulos de elevación y azimuth. Una fuente de las efemérides del Sol es el NAUTICAL ALMANAC, publicado cada año por la Superintendent of Documents, Government Printing Office, Washington D. C.

La duración de los desvanecimientos producidos por el Sol en el día principal, pueden estimarse, considerando que el Sol se

mueve a 15°/hora, visto desde coordenadas geocéntricas. El outage solar empieza cuando un costado del Sol es tangente a la proyección del círculo del ancho de banda de media potencia y termina cuando el otro costado sale de dicho círculo.

Esto es:

$$\text{Duración Máxima de Desvanecimientos} = \frac{(2 \cdot SD + B) \cdot 60 \text{min./h}}{15^\circ/\text{h}}$$

donde: SD : Semidiametro angular del Sol (0.267°)

B : Ancho del haz de la antena a 3 db.

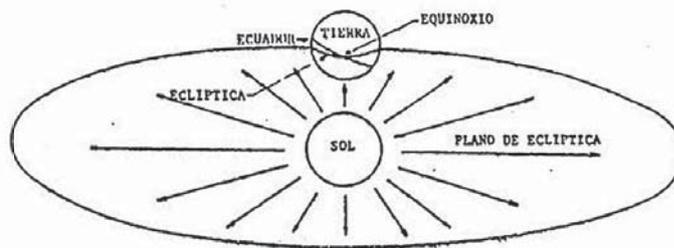


Fig. 18 - UBICACION DE LAS LINEAS ECUATORIAL Y ECLIPTICA Y DE LA ORBITA DEL SOL

La Luna tiene una temperatura de ruido de 90 - 250°K y las contribuciones de ruido de las nebulosas son pequeñas.

Si el lóbulo mayor de la antena ilumina la tierra, la temperatura de ruido del sistema podrá ser incrementada por aproximadamente 290°K. Afortunadamente los satélites sincrónicos requieren ángulos de elevación de 5° o más. El valor del ruido radiado por la Tierra está dado por:

$$T_{\text{earth}} = T_e (1-R)^\circ\text{K}$$

Donde:

T_e = temperatura física de la tierra

R = Coeficiente de reflexión

3. CARACTERISTICAS Y PARAMETROS PRINCIPALES EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACION POR SATELITE.-

3.1 Características del Sistema y Parámetros.-

3.1.1 Area de Cobertura .- El área de cobertura es el área iluminada por la antena del satélite. Un área determinada puede ser cubierta por un sólo haz o por la combinación de varios haces o por muchos haces pincel.

3.1.2 Tipos de acceso múltiple y técnicas de modulación .- El acceso múltiple es una característica específica de las comunicaciones por satélite, que opera como una repetidora, visible y accesible a todas las estaciones terrenas localizadas dentro del área de cobertura. Hay básicamente tres tipos de acceso múltiple:

. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).-

Es actualmente el más usado. En redes de alto/mediano tráfico cada estación transmite una portadora en una frecuencia dedicada, modulada por una señal de banda base consistente de un multiplexado de canales de voz, destinados a otras estaciones, de forma similar a la técnica de modulación FDM/FM usada en enlaces terrestres. Cada estación en la red recibe la portadora transmitida, pero solamente son demodulados de la banda base recuperada, los canales direccionados a cada estación en particular. (Fig. — 19a).

Como se amplifican muchas portadoras en un mismo dispositivo en el transpondedor del satélite, se requiere de un margen sobre el punto de saturación (back off) para mantener los productos de

intermodulación dentro de niveles aceptables; esto reduce la capacidad total de transmisión del transpondedor.

Un método similar se aplica en los transmisores SCPC donde las portadoras son moduladas por un canal simple de voz.

El número máximo de portadoras por transpondedor depende de la separación entre portadoras, la potencia disponible, un back off necesario, etc; la ganancia que se obtiene por el uso de la activación por voz de las portadoras da una ventaja de 2.5 db sobre la capacidad efectiva de transmisión.

El acceso múltiple por división de frecuencia no implica una modulación de frecuencia; también se puede usar técnicas de modulación digital.

. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

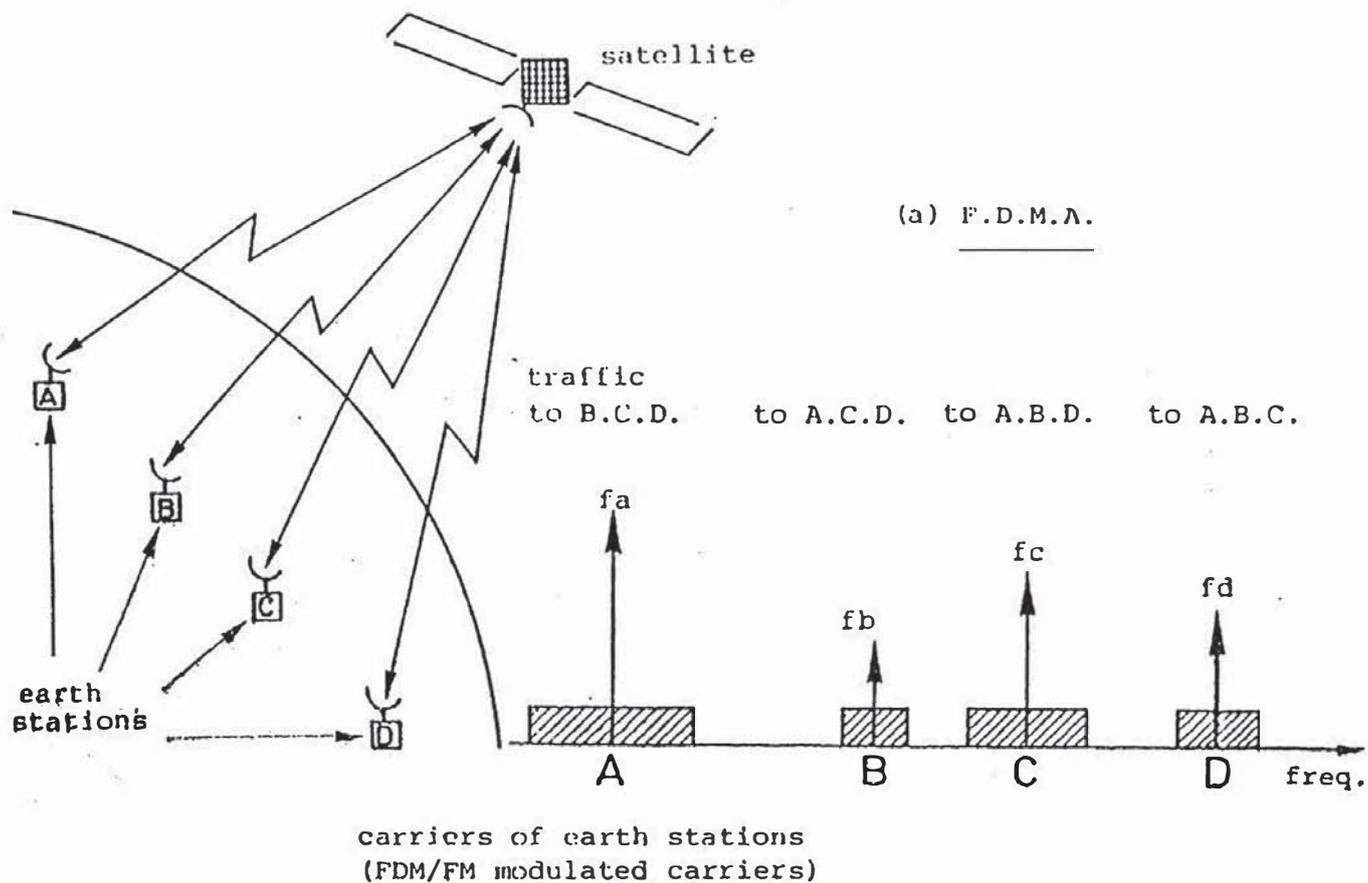
No es muy usado hasta ahora pero será expandido en el futuro; particularmente en redes de alto/mediano tráfico. En los sistemas que usan TDMA, todas las estaciones transmiten en la misma frecuencia y de acuerdo a una asignación de intervalos consecutivos de tiempo.

Estas ventanas de tiempo son separadas unas de otras por intervalos de guarda; la agrupación de estos intervalos forma una trama que comienza con un preámbulo que contiene la dirección y los datos necesarios de operación.

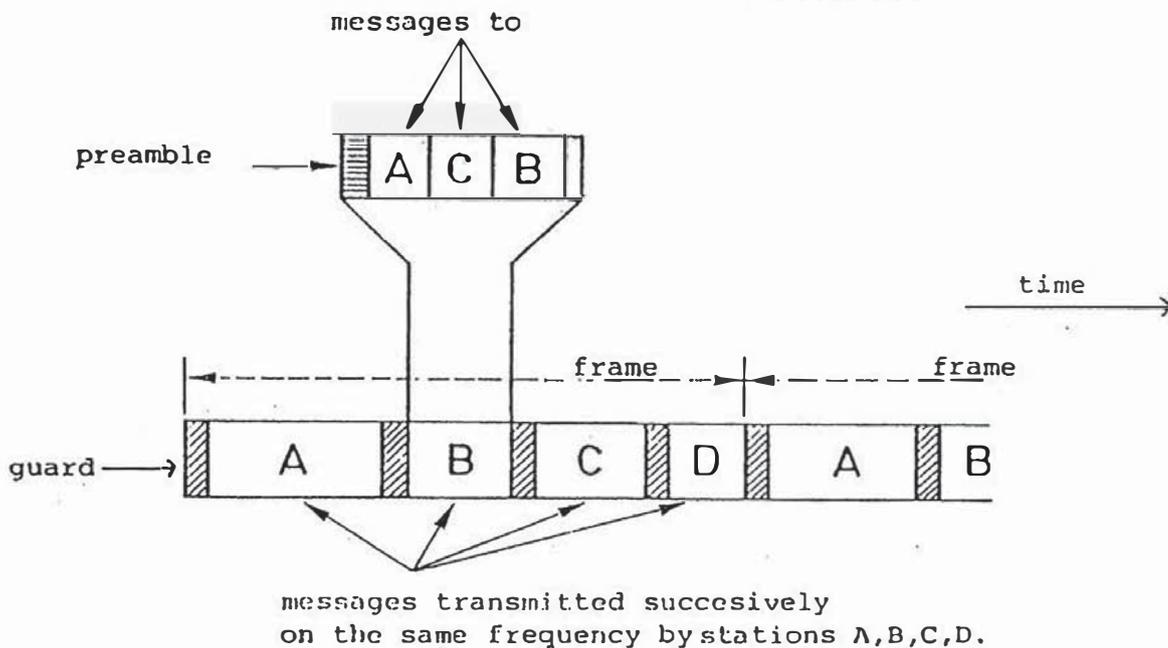
Cada estación recibe la señal completa y selecciona en las tramas sucesivas los mensajes direccionados a ella. (Fig. - 19 b).

La transmisión en TDMA es por portadora simple por tanto no se requiere de un back off. La capacidad de transmisión es aproximadamente independiente del número de estaciones participantes;

FIG. - 19 TECNICAS DE MULTIACCESO.



(b) T.D.M.A.



se puede usar interpolación digital de voz (DSI) para doblar la capacidad de transmisión.

Cuando se usa muchos haces pincel la interconectividad se realiza por medio de un conmutador a bordo del satélite (Ejemplo: INTELSAT IV)

. Acceso múltiple por división de código (CDMA).-

Se usa principalmente en sistemas militares. Prohíbe el uso en sistemas comerciales su alto costo, complejidad y su eficiencia limitada.

3.1.3 Bandas de Frecuencia

Las Bandas de frecuencias usadas en los sistemas de satélite se sumarizan en el Cuadro - 4 tomando en cuenta las nuevas bandas asignadas por el W.A.R.C. 1979.

Breve comentario sobre las bandas de frecuencia usadas en los sistemas comerciales.

. Banda de 6/4 GHz.-

Al presente es la banda más usada. Sus principales ventajas son:

- ✓ No son afectadas prácticamente por las condiciones del clima
- ✓ Se ha adquirido amplia experiencia operacional
- ✓ Se ha conseguido un mayor grado de desarrollo y estandarización de equipos.

Las principales desventajas son:

- ✓ La coordinación entre sistemas está creando dificultades debido al gran uso en enlaces espaciales y terrestres

CUADRO - 4

BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN LOS SISTEMAS DE
COMUNICACION POR SATELITE

<u>ENLACE DE SUBIDA</u> (GHZ)	<u>ENLACE DE BAJADA</u> (GHZ)	<u>ANCHO DE BANDA</u> (MHz)	<u>CARACTERISTICAS</u>
5.85 - 5.925	3.4 - 3.7	7.5	Sistemas Comerciales Los 500 MHz han sido sustancialmente aumentados por WARC 1979. Los 2 x 250 MHz han sido aumentados por la WARC 1979 Región 2 Región 1
5.925 - 6.425	3.7 - 4.2	300	
6:425 - 7.075		500	
	4.5 - 4.8	650	
14 - 14.5		300	
	10.7 - 10.95	500	
	10.95- 11.2	1000	
	11.2 - 11.45		
	11.45- 11.7		
	11.7 - 12.3	600	
12.5 - 12.75	12.5 - 12.75	250	
12.75- 13.25		500	
27.7 - 31.2	17.7 - 21.2	3500	
7.9 - 8.4	7.25- 7.75	500	Sistemas Militares
	2.5 - 2.69	190	Radiodifusión de TV Para recepción comunitaria Región 1 Excepto Europa Malta] WARC 1979 Región 1 Región 2 Región 3
10.7 - 11.7		1000	
14 - 14.8		800	
17.3 - 18.1		800	
	11.7 - 12.5	800	
	12.3 - 12.2	400	
	11.7 - 12.2	500	
	12.5 - 12.75	250	

- La formación de haces pincel desacoplados requieren de mayor área de cobertura.

. Banda de 14/11 GHz.-

Esta banda ha comenzado a ser usada pero se ha expandido rápidamente (E.C.S., parte de INTELSAT V, VI, etc).

Ventajas principales:

- La coordinación es mucho más fácil,
- Las estaciones terrenas son más pequeñas
- Los haces pincel son fáciles de implementar que en la Banda C.

Desventajas principales:

- Son afectados apreciablemente por las condiciones del clima. En algunas regiones la atenuación es muy alta.
- La experiencia operacional todavía es muy limitada, así como el grado de desarrollo y estandarización de equipos.

. Banda de 30/20 GHz

Esta banda ha comenzado a ser experimentada, pero probablemente comenzará a expandirse en los 90. Sus principales desventajas son similares a las de la banda de 14/12 GHz pero con un ancho de banda de 3.5 GHz.

Debido a las atenuaciones muy altas impone a menudo el uso de diversidad.

3.14 Capacidad de Transmisión.-

Representa la cantidad de información (número de canales de voz o de video, etc) transmitido por el sistema SATCOM usando un satélite dedicado o transpondedores alquilados, y es uno de los

objetivos principales y la justificación del sistema. La capacidad de transmisión es una función de la potencia de saturación del transpondedor, de las dimensiones de la estación terrestre, del ancho de banda efectivo (tomando en consideración el reuso de frecuencia), del tipo de acceso múltiple y la técnica de modulación y de la optimización del sistema, etc.

3.1.5 Requerimientos sobre calidad de señal

La relación señal a ruido en los canales telefónicos, en los canales de TV, en la transmisión de datos, etc. son básicamente factores de calidad que deben ser especificados y son muy importantes en la optimización del sistema. Debe tomar en consideración los productos de intermodulación (u otros efectos) generado en el satélite y todos los tipos de interferencia.

Todos los parámetros mencionados dependen de una variedad de limitaciones prácticas, sin embargo el mayor propósito está dirigido a seleccionar los parámetros apropiados que permitan , el número máximo de canales de alta calidad para una transmisión económica .

Las limitaciones principales son:

- El ancho de banda asignado a las comunicaciones espaciales.
- El número de satélites que pueden ser acomodados en órbitas sincrónicas, comunes a todos los satélites geoestacionarios.

3.2 Características y parámetros de los satélites

Los parámetros principales en la definición de un sistema SATCOM son:

- Estabilidad de la posición (norte-sur y este-oeste) del saté-

- G/T_s . Representa la sensibilidad del satélite; es la relación de la ganancia de la antena de recepción y la temperatura de ruido recibido en $db/^\circ K$
- La ganancia de transferencia del satélite, Es la relación de la potencia de la señal transmitida y la potencia de la señal recibida o sea la amplificación total en el satélite. La ganancia de transferencia debe ser alta para el servicio de telefonía rural a fin de reducir los elementos en la estación terrena.
- Niveles de los productos de intermodulación y de interferencia. Son importantes en la definición del sistema y en el cómputo de la calidad de transmisión.

3.3 Características y Parámetros de las estaciones terrenas.-

Los principales parámetros en la definición de las estaciones terrenas.

- . G/T - el factor de calidad representa la sensibilidad de la estación terrena. Decece con el ángulo de elevación debido a que el ruido de la antena aumenta. En los sistemas domésticos se usan generalmente estaciones con antenas pequeñas, el G/T depen-

de del EIRP del satélite, y del tipo de transmisión. En redes troncales de alto tráfico, el G/T de las estaciones es entre 30 - 40 db/°K (antenas de 10-14 metros); para tráfico medio el G/T es entre 22-26 db/°K (antenas de 5 a 8 metros) y en redes de poco tráfico es de 17-20 db con antenas de 3 a 4.5 metros.

- . EIRP - producto de la ganancia en transmisión de la antena por la potencia de salida en dbW; debe ser considerado para cada tipo de señal transmitida. Varía de acuerdo a los requerimientos de la capacidad de transmisión, del tipo de transmisión, del G/Ts y de la ganancia de transferencia del satélite.
- . Técnica de Demodulación .- El tipo de demodulación que se usa (Ej. demodulación de extensión umbral) afecta los márgenes previstos en el sistema.
- . Nivel de interferencia con otros sistemas de comunicación. La interferencia reduce la calidad de transmisión y se limita por coordinaciones.

El CCIR/CITT ha establecido recomendaciones que son aplicadas a estaciones terrenas en general; en tanto INTELSAT ha establecido disposiciones sobre características de desempeño que las estaciones deben cumplir como previsión antes de comenzar a operar en el Sistema INTELSAT. Estos son categorizados como requerimientos para estaciones terrenas standard A, B, C, D y Z. Los documentos aplicables son como sigue:

Estaciones standard A, B, C, D, E, F - Módulos IESS (27, Setiembre de 1985)

Estación standard G - BG-60-60

Estación estándar Z - BG-52-75

3.4 Constitución de los Satélites y de las Estaciones Terrenas

3.4.1 Constitución de las estaciones terrenas

Describiremos brevemente la constitución de una estación terrena típica de tráfico medio.

a) Esta estación típica contiene los siguientes sub-sistemas:

- Construcciones y accesorios
- Sub-sistema de antena = estructura metálica, reflector principal, alimentador primario y subreflector, rastreo, etc.
- Receptor de bajo ruido (L.N.A.)
- Amplificador de alta potencia (H.P.A.)
- Equipo común de comunicaciones (GC.E): Up/down converters, Modems, divisores y combinadores de bajo nivel.
- Equipo SCPC: Unidades de canal, equipo común y equipos D.A.M.A.
- Equipo procesador de banda base
- Fuente de alimentación primaria
- Enlaces de interconexión
- Equipo de control y supervisión

Todos estos subsistemas están presentes en las estaciones de IN-TELSAT pero generalmente en estaciones pequeñas se omiten algunos elementos.

b) Breve revisión de los subsistemas mencionados.

- Construcciones y accesorios - Las estaciones domésticas generalmente requieren de una pequeña y simple construcción: algunas veces (Ej. estaciones rurales) se usan Shelter's.

- Subsistema de antena - las antenas en el sistema doméstico son usualmente mucho más pequeñas que la standard A de INTELSAT y frecuentemente no requieren de rastreo automático.
 - Los alimentadores primarios utilizados en los sistemas de satélite prestan muchas funciones dependiendo de la característica de transmisión que ha sido adoptado; estas funciones son:
 - * Separación de la señal transmitida y recibida. Se realiza en un transductor ortomodo OMT , o en una unión ortomodo OMJ.
 - * Conversión de las señales de transmisión y recepción a la polarización apropiada - se realiza en los polarizadores.
 - * Si se emplea reuso de frecuencia la combinación y separación de dos señales con sentidos opuestos de polarización se realiza en el OMT.
 - * Derivar señales de rastreo - Las señales para el sistema de rastreo monopolso se derivan en el alimentador.

- L.N.A. - En las primeras estaciones de INTELSAT se usaron amplificadores paramétricos criogénicamente enfriados, seguidos por los L.N.A. termo-eléctricamente enfriados. En las estaciones domésticas de alto tráfico al presente se usan L.N.A. no enfriados a (4 GHz). Gracias al considerable progreso conseguido en la tecnología de los transistores de efecto de campo (FET) los amplificadores generalmente usados ahora en estaciones con tráfico medio/bajo son simples y económicos. La situación es similar en las estaciones que operan en la banda de 11/12 GHz

- H.P.A. Hay tres tipos:
 - * Los que usan un tubo de ondas progresivas enfriados por aire

(T.W.T.) con 500 MHz de ancho de banda.

* Los simples usando Klystrons con ancho de banda limitado de 40 MHz (a 4 GHz) permitiendo la operación dentro de un transpondedor solamente.

* Los enteramente de estado sólido, usando FET que tienen un amplio ancho de banda pero que operan solamente en niveles bajos (menos que 10 watt a 6 GHz) como los requeridos en estaciones rurales.

- Equipo común (G.CE) - Se usan Modems que modulan y demodulan portadoras de 70 MHz (Son usados en enlaces telefónicos troncales F.D.M./FM y en transmisiones de TV)

Convertidor (up-down).

Los requerimientos de frecuencia implican el uso de doble conversión (o un diseño especial de conversión simple) y frecuentemente sintetizadores de frecuencia.

- Equipo SCPC - Las unidades de canal son equipados con sintetizadores de frecuencia y tienen sus propios Modems y las frecuencias entrantes y salientes están dentro del rango de 52 a 88 MHz. Debido a la operación multiportadora los up-converters usados en SCPC deben ser muy lineales.

- Enlaces de interconexión - Conectan los equipos ubicados en la antena con los equipos del Shelter. La importancia de estas interconexiones se reduce en el sistema doméstico.

- Equipo de Control y Supervisión - Sus fines son el control y asegurar un buen funcionamiento de la estación y supervisar las estaciones pequeñas generalmente no atendidas.

3.5 Constitución de los satélites.

Describiremos brevemente la constitución del satélite IS-VA y IS-VB y algunas particularidades de su constitución.

El satélite está constituido de los siguientes subsistemas principales (Fig. - 20)

- Estructura
- Control de altitud y estabilidad - Propulsión
- Control térmico
- Sistema de energía (paneles solares y baterías, etc)
- Telemetría / Telecomando
- Bloque de comunicaciones (antena y transpondedores).

La ganancia de la antena transmisora es un parámetro muy importante en la optimización del sistema; frecuentemente se requieren la formación de haces complejos y el uso de alimentadores múltiples. La complejidad aumenta cuando se reusa la frecuencia por discriminación de polarización. Fig. - 21

Con el lanzamiento del primer satélite de la serie V de INTELSAT en Dic. de 1980 fueron introducidos tres avances técnicos principales en el sistema, a decir:

- Reuso del espectro de frecuencia disponible en la banda 6/4 - GHz por discriminación de polarización.
- Uso de la banda de frecuencia de 14 /11 GHz
- Estabilización de tres ejes del segmento espacial.

La expansión de la banda por reuso de frecuencia ha sido necesaria por los requerimientos explosivos del servicio internacional de comunicaciones. Así se asignaron al Satélite (500 MHz a

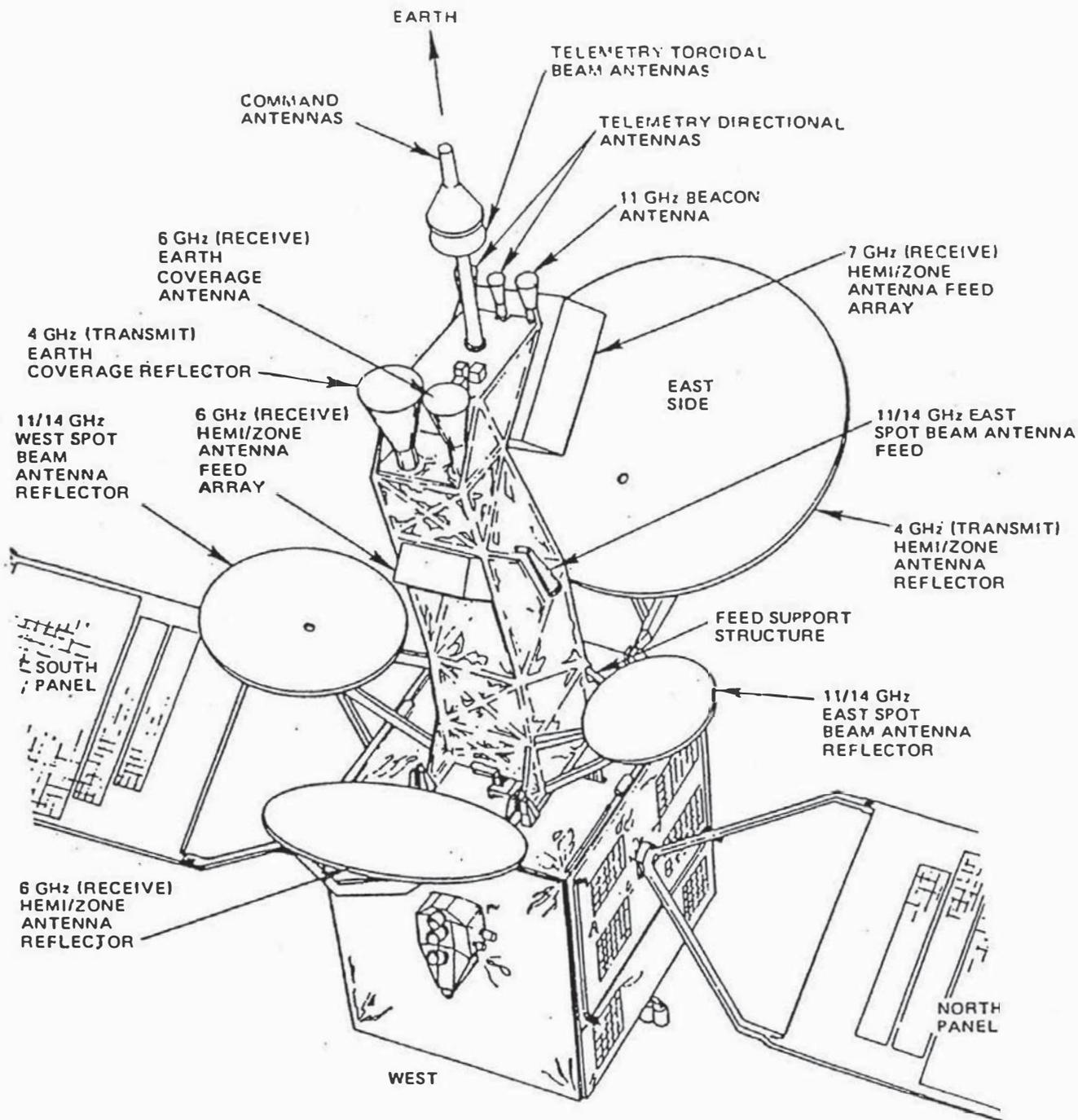
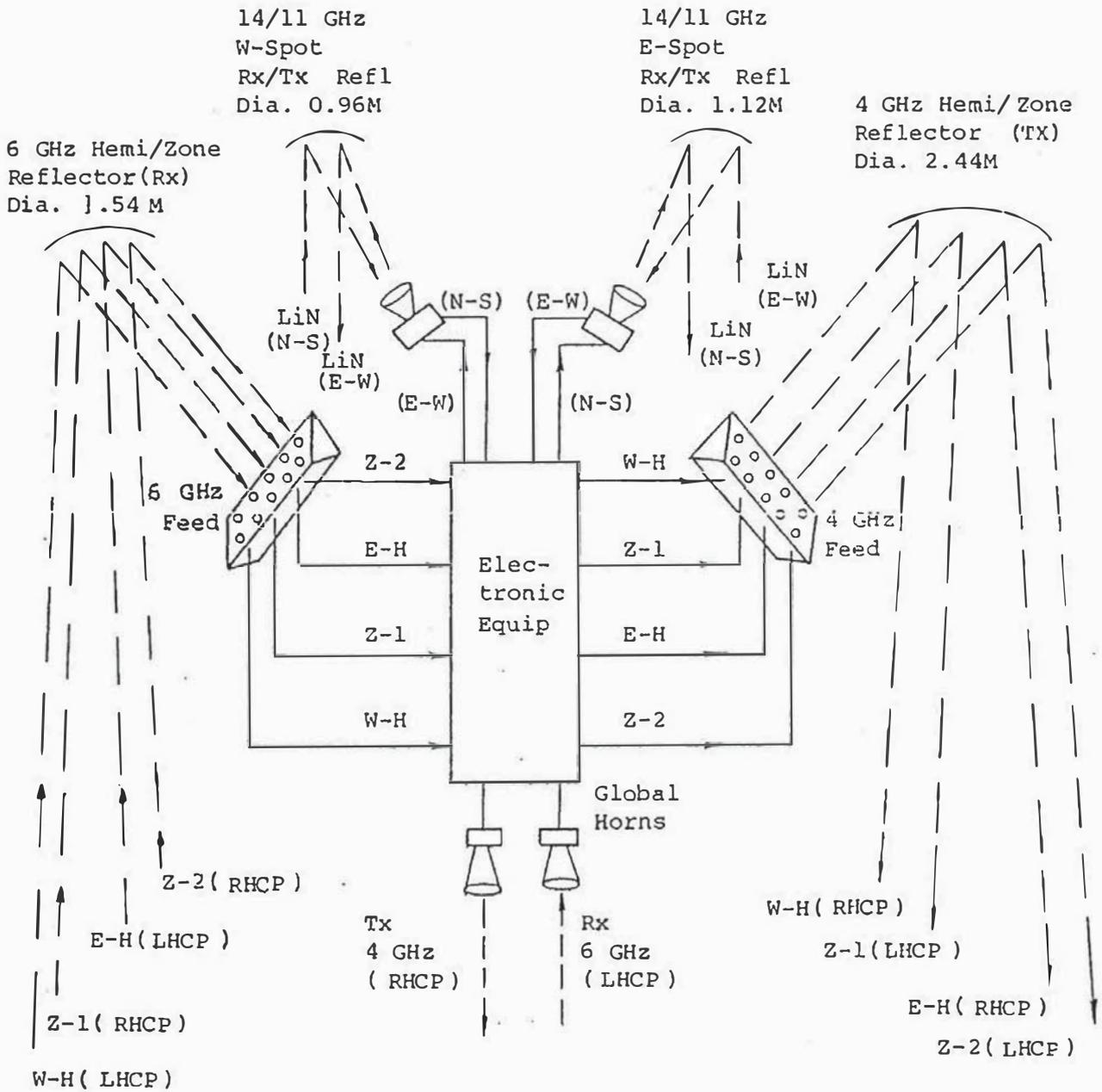


FIG. - 20 SATELITE INTELSAT IS-V



Legend

- W-H = West hemispheric beam
- Z-1 = Zone 1 beam (West)
- E-H = East hemispheric beam
- Z-2 = Zone 2 beam (East)
- LHCP = Lefthand circular polarization
- RHCP = Righthand circular polarization
- LIN (N-S) = Linear North-South
- LIN (E-W) = Linear East-West polarization

FIG. - 21 INTELSAT-V Polarization and Frequency Reuse Concept.

6/4 GHz y 500 MHz a 14/11 GHz) 1000 MHz de ancho de banda. El ancho de banda del segmento espacial es en exceso 2000 MHz, dependiendo de cómo son usados los transpondedores (operación por portadora simple o multiportadora).

3.5.1 Constitución del Satélite INTELSAT IS-VB (Fig. — 22)

El segmento espacial IS-VB (F13 - F15) es el mismo satélite IS-VA modificado con un haz pincel ensanchado en la banda K con objeto de cursar servicios empresariales (IBS) en el Atlántico Norte (costa oeste de EE.UU.).

a) Configuración de los transpondedores y conexiones de los haces.-

El ancho de banda RF del satélite INTELSAT-VB se divide en segmentos de 36, 41, 72, 77, 241 MHz, de acuerdo con la banda de frecuencia y las conexiones de haces que se emplean para satisfacer las necesidades de tráfico. El IS-VB puede funcionar tanto en la banda 6/4 GHz como en la de 14/11 ó 14/12 GHz e interconectarlos. Por consiguiente, es posible establecer comunicaciones entre estaciones que funcionan en 6/4 GHz y los que funcionan en 14/11 ó 14/12 GHz (funcionamiento en interconexión).

El INTELSAT - VB puede configurarse por telemando terrestre para la selección de enlaces descendentes de 12 GHz en vez de los 11 GHz en el haz pincel oeste o en el este independientemente.

Además de la modalidad de interconectividad, posee una modalidad de conectividad total con determinados transpondedores.

Se usa un sistema de numeración de 1 a 12 para designar intervalos de frecuencia con un ancho de banda de no más de 41 MHz.

Cuando se utiliza un transpondedor con un ancho de banda de más

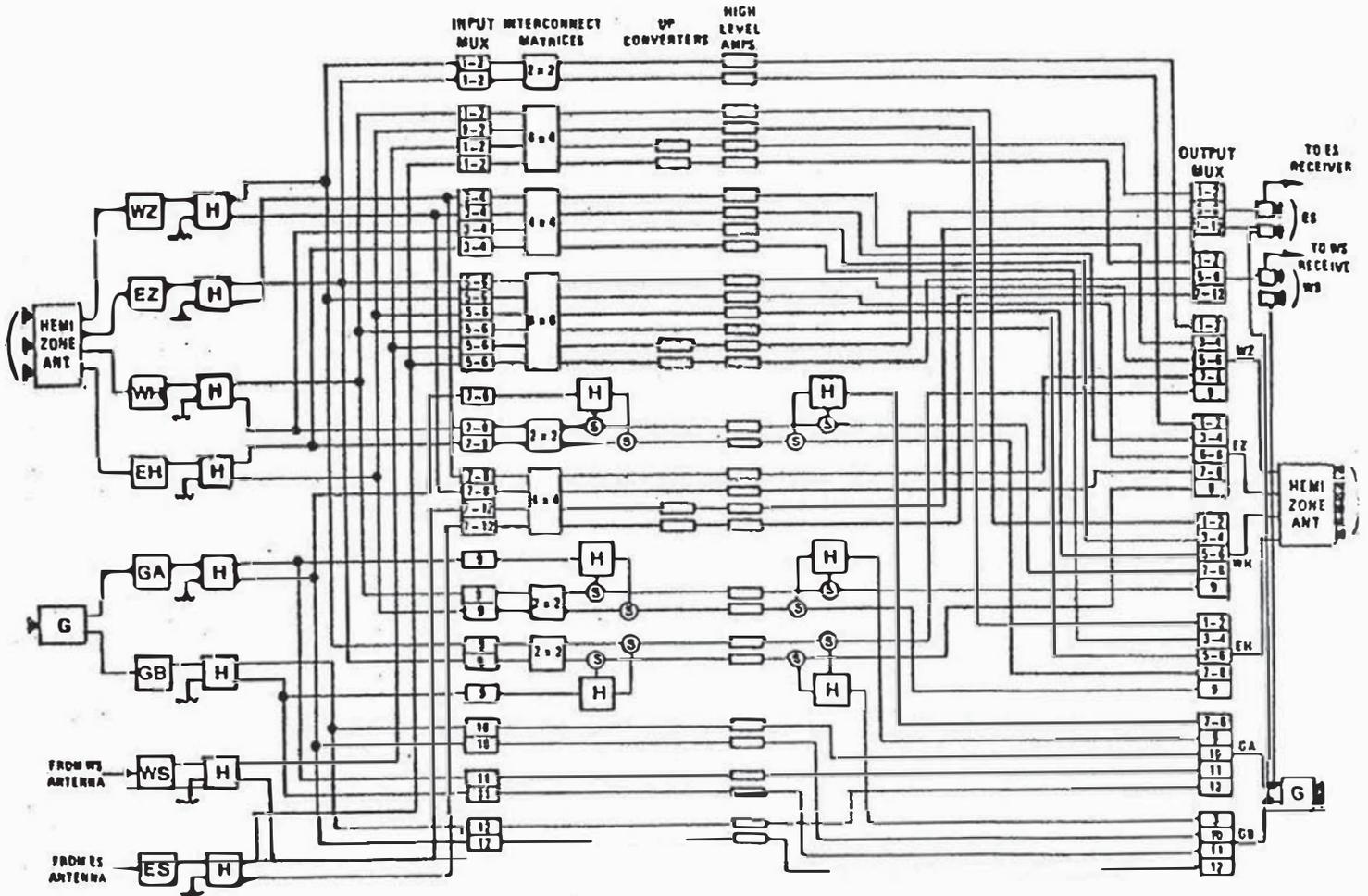


FIG. - 22 INTELSAT V-A Communications Sub-System

de 41 MHz, se emplea un número múltiple (por ejemplo 1.2). La capacidad de interconexión de los haces y los transpondedores se muestra en el Cuadro - 5

Cada haz con acceso a un intervalo determinado de frecuencia está designado con un número de dos o tres dígitos, de los que el dígito de las unidades identifica la banda de frecuencias y los dígitos de las decenas y de las centenas la cobertura y tipo de haz (por ejemplo, hemisférico este). El Cuadro - 6 muestra los números de conexión de los haces del IS-VB tal como se correlacionan con la designación aplicable del intervalo de frecuencia y las frecuencias centrales respectivas.

En la banda de 6/4 GHz, se logra la reutilización cuádruple de la frecuencia en los haces hemisféricos y de zona mediante el aislamiento espacial de los haces este y oeste junto con la polarización circular de sentidos opuestos entre los haces hemisféricos y de zona. Los haces globales funcionan en polarización circular doble en 6/4 GHz para reutilizar dos veces las frecuencias; los haces pincel de 4 GHz también funcionan en polarización circular doble. Se logra la reutilización doble de las frecuencias en la banda de 14/11 ó 14/12 GHz mediante el aislamiento espacial de los haces pincel este y oeste; estos haces tienen además una polarización lineal opuesta. En el cuadro 6 se da la orientación de los haces polarizados linealmente.

En la figura 23 se muestra el plan de frecuencias de los transpondedores del satélite IS-VB, ilustra también la configuración y polarización de los haces.

CAPACIDAD DE INTERCONEXION DE LOS HACES Y TRANSPONEDORES DEL INTELSAT VB

(ENLACES ASCENDENTES DE 6 GHz)

RECEPCION DEL SATELITE		VIA INTERVALOS DE FRECUENCIA Nos. (Transpondedor)	TRANSMISION DEL SATELITE	
COBERTURA (ENLACE ASC.)	BANDA DE FREC. (GHz)		COBERTURA (ENLACE DESC.)	BANDA DE FREC. (GHz)
Global A	6	(7-8), 9, 10, 11, 12	Global A o pincel A	4
Global B	6	9, 10, 11, 12	Global B o pincel B	4
Hemisf. Este	6	(1-2), (3-4), (5-6), (7-8), 9	Hemisf. Este u Oeste	4
Hemisf. Este	6	(1-2), (5-6)	Pincel Este u Oeste	11/12
Hemisf. Este	6	(3-4), (5-6)	Zona Este u Oeste	4
Hemisf. Oeste	6	(1-2), (3-4), (5-6), (7-8), 9	Hemisf. Este u Oeste	4
Hemisf. Oeste	6	(3-4), (5-6)	Zona Este u Oeste	4
Hemisf. Oeste	6	(1-2), (5-6)	Pincel Este u Oeste	11/12
Zona Oeste	6	(1-2), (3-4), (5-6), (7-8), 9	Zona Este u Oeste	4
Zona Este	6	(1-2), (3-4), (5-6), (7-8), 9	Zona Este u Oeste	4
Zona Oeste	6	(7-8)	Pincel Este u Oeste	11/12
Zona Este	6	(7-8)	Pincel Este u Oeste	11/12
Zona Oeste	6	(3-4), (5-6)	Hemisf. Este u Oeste	4
Zona Este	6	(3-4), (5-6)	Hemisf. Este u Oeste	4
Hemisf. Este/Oeste	6	(3-4)	Conectividad total	4/11/12

(ENLACES ASCENDENTES DE 14 GHz)

RECEPCION DEL SATELITE		VIA INTERVALOS DE FRECUENCIA Nos. (Transpondedor)	TRANSMISION DEL SATELITE	
COBERTURA (ENLACE ASC.)	BANDA DE FREC. (GHz)		COBERTURA (ENLACE DESC.)	BANDA DE FREC. (GHz)
Pincel Este	14	(1-2), (3-4)*, (5-6), (7-12)*	Pincel Este u Oeste	11/12
Pincel Este	14	(1-2), (5-6)	Hemisf. Este u Oeste	4
Pincel Oeste	14	(1-2), (3-4)*, (5-6), (7-12)*	Pincel Este u Oeste	11/12
Pincel Oeste	14	(1-2), (5-6)	Hemisf. Este u Oeste	4
Pincel Este	14	(7-8)	Zona Este u Oeste	4
Pincel Oeste	14	(7-8)	Zona Este u Oeste	4
Pincel Este/Oeste	14	(3-4)*	Conectividad total	4/11/12
Pincel Este/Oeste	14	(7-8)	Conectividad Pincel-a-Hemisf.	4

* Véanse las notas 5, 6 y 7.

NOTAS del Cuadro - 5

- Véase en el Cuadro 6 el sistema de numeración de conexiones de haces y de transpondedores.
- Además de la cobertura global, hemisférica y de zona en 6/4 GHz, el INTELSAT VB provee dos haces pincel orientables independientemente en el enlace descendente en 4 GHz.
- La conectividad total es una interconexión de haces múltiples que permite que una transmisión por el haz hemisférico o pincel, este u oeste, pueda recibirse simultáneamente por ambos haces pincel en la banda K, y por ambos haces hemisféricos en la banda C.
- La conectividad de haz pincel a hemisférico es una interconexión de haces múltiples que permite que una transmisión por cualquiera de los haces pincel (este u oeste) en la banda K pueda recibirse simultáneamente por ambos haces hemisféricos en la banda C.
- El transpondedor de haz pincel de banda K (7-12) sólo puede configurarse para los haces descendentes de 11 GHz y no para los de 12 GHz.
- En la configuración nominal, la capacidad en 11 GHz sólo existe en el haz pincel oeste para el transpondedor (3-4) y no en el haz pincel este.
- Las frecuencias de banda K del enlace descendente normalmente relacionadas con la cobertura del haz pincel oeste pueden intercambiarse con la cobertura del haz pincel este.

Cuadro Nº 6

SISTEMA DE NUMERACION DE CONEXIONES DE HACES Y TRANSPONDADORES DEL INTELSAT VB
(TRANSPONDADORES DE 6/4 GHz)

NUMERO DE INTERVALO DE FRECUENCIA	NUMERO DE IDENTIFICACION DE CONEXION DEL HAZ						FRECUENCIA CENTRAL (MHz)			
	HEMISF. OESTE	HEMISF. ESTE	ZONA OESTE	ZONA ESTE	GLOBAL (A)	GLOBAL (B)	PINCEL 4 GHz (A)	PINCEL 4 GHz (B)	REC. DEL SATELITE (ENLACE ASC.)	TRANS. DEL SATELITE (ENLACE DESCEND.)
1-2	11	21	41	51	-	-	-	-	5967.5	3742.5
3-4	12	22	42	52	-	-	-	-	6050	3825
5-6	13	23	43	53	-	-	-	-	6130	3905
7-8	14	24	44	54	34	-	134	-	6220	3995
9	15	25	45	55	35	85	135	185	6280	4055
10	-	-	-	-	36	86	136	186	6320	4095
11	-	-	-	-	37	87	137	187	6360	4135
12	-	-	-	-	38	88	138	188	6402.5	4177.5
Identific. de polariz.	A	A	B	B	A	B	A	B	---	---

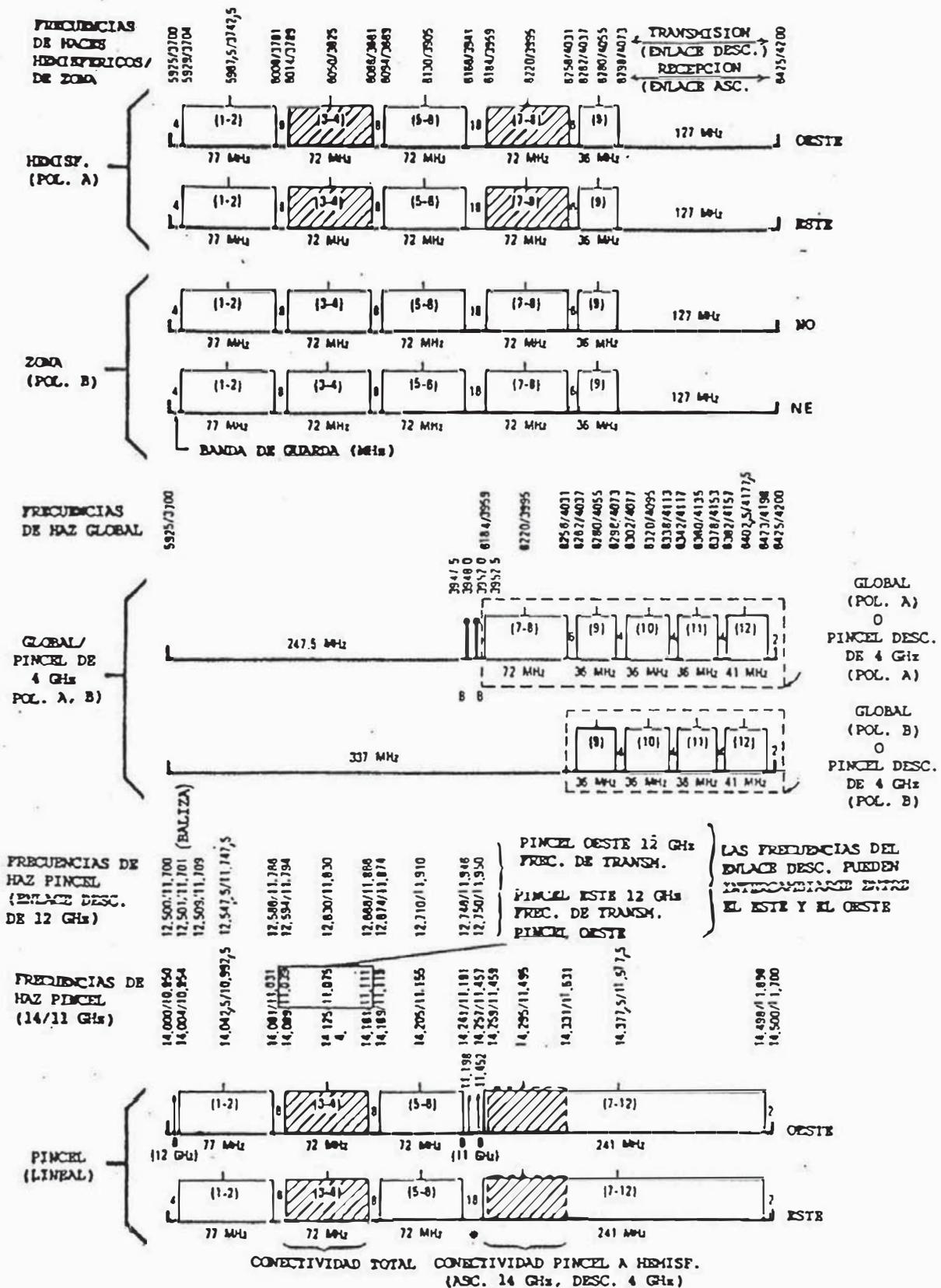
SISTEMA DE NUMERACION DE CONEXIONES DE HACES Y TRANSPONDADORES DEL INTELSAT VB
(HACES DE 14/12 GHz)

SISTEMA DE NUMERACION DE LOS HACES DEL INTELSAT VB
(TRANSPONDADORES DE 14/11 GHz)

NUMERO DE INTERVALO DE FRECUENCIA	NUMERO DE IDENTIF. DE CONEXION DEL HAZ		FRECUENCIA CENTRAL (MHz)		NUMERO DE IDENTIF. DE CONEXION DEL HAZ	FRECUENCIA CENTRAL (MHz)			
	PINCEL OESTE	PINCEL ESTE	REC. DEL SATELITE (ENLACE ASCENDENTE)	TRANS. DEL SATELITE (ENLACE DESCEND.)		PINCEL OESTE	PINCEL ESTE	TRANS. DEL HAZ PINCEL OESTE (ENLACE DESCENDENTE)	TRANS. DEL HAZ PINCEL ESTE (ENLACE ASCENDENTE)
1-2	61	71	14042.5	10992.5	1-2	161	171	11747.5	12547.5
3-4	62	72	14125	11075	3-4	162	172	11830	12630
5-6	63	73	14205	11155	5-6	163	173	11910	12710
7-8	64	74	14295	11495					
7-12	69	79	14377.5	11577.5	Identific. de polariz.	Véase la Nota 4		---	---

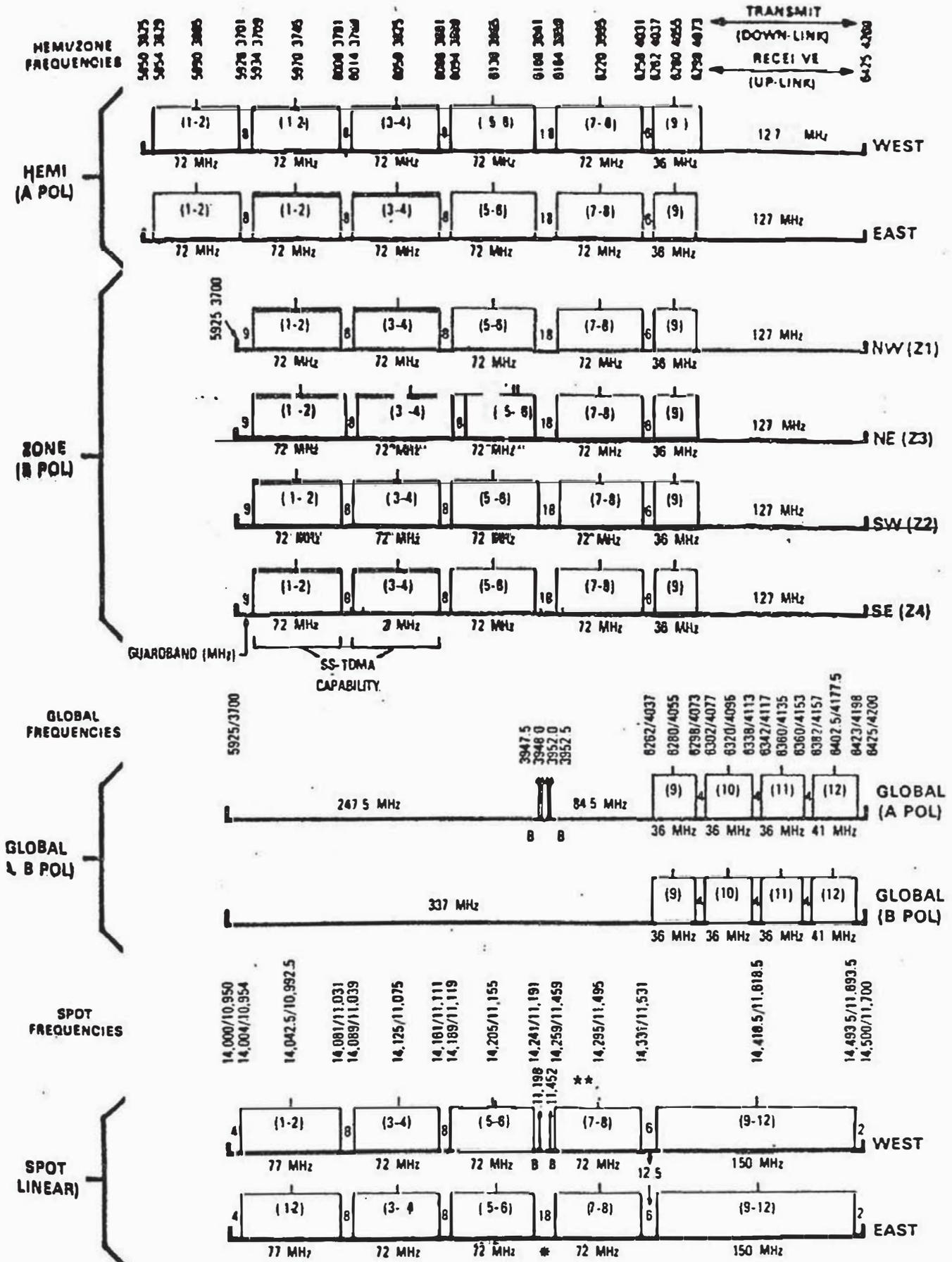
En la figura 24 se muestra la disposición de los transpondedores del programa INTELSAT - VI que representa la siguiente generación de satélites de comunicaciones comerciales. Cada satélite tiene 48 transpondedores y se pueden conectar entre sí mediante matrices de conmutación estática o una red de acceso múltiple por distribución en el tiempo con conmutación en el satélite (SS/TDMA), que es una de las principales tecnologías desarrollada bajo el patrocinio de INTELSAT.

La identificación relativa a los haces polarizados circularmente se define de la manera indicada a continuación. Es posible conectar transpondedores con polarización A de trayecto ascendente y polarización A de trayecto descendente o polarización A de trayecto ascendente y polarización B en el descendente. Se



- Notas:
1. Véanse los Cuadros 1 y 2 para mayor información.
 2. En el enlace descendente del haz pincel de 11 GHz hay una separación de 250 MHz entre (5-6) y (7-12) (11.200-11.450 GHz).
 3. Las frecuencias de haces pincel de 11 GHz ó 12 GHz pueden seleccionarse independientemente para el este o el oeste.

Figura - 23
DISPOSICION DE LOS TRANSPONDEDORES DEL INTELSAT VA



* On spot down-link there is a 250 MHz gap between (5-6) and (7-8) (11,200-11,450 GHz).

** The polarization of the 11 GHz beams is Right Hand Circular (RHC).

FIGURA - 24
 DIAGRAMA DE LOS TRANSPONEDORES DEL INTELSAT VI

pueden efectuar conexiones similares con polarización B de trayecto ascendente.

- | | | | |
|-------------------|------|-------------|---------------|
| 1) Polarización A | LHCP | Rx del Sat. | (enlace Asc) |
| | RHCP | Tx del Sat. | (enlace Desc) |
| 2) Polarización B | RHCP | Rx del Sat | (enlace Asc) |
| | LHCP | Tx del Sat | (enlace Desc) |

Siendo LHCP - Pol. circular Sinistrorsa

RHCP - Pol. circular dextrorsa

Los haces pincel de 14/11 GHz están polarizados linealmente en dirección vertical a horizontal con respecto al sistema de coordenadas del satélite. La orientación vertical es paralela al eje de cabeceo del satélite (norte/sur) y la orientación horizontal es paralela al eje de balanceo del satélite (este/oeste).

La orientación del campo E visto desde una estación terrena depende de la ubicación geográfica de la estación y de su posición con respecto al satélite en cuestión, por lo que es necesaria la rotación del polarizador de la estación terrena para optimizarla en relación con el frente de onda hacia y desde el satélite.

Debido a la pequeña abertura angular de los haces pincel, generalmente se considera que cuando la polarización de recepción de la estación terrena se ajuste a la del satélite, la polarización de transmisión será aproximadamente ortogonal a la del satélite y por consiguiente estará cerca de su alineamiento óptimo.

La orientación de la polarización lineal de los haces pincel del IS-VA se define de la siguiente manera:

1) Orientación del haz pincel oeste:

Rx del satélite (enlace asc., 14 GHz) - Vertical (paralela al eje de cabeceo).

Tx del satélite (enlace desc. 11 ó 12 GHz) - Horizontal (paralela al eje de balanceo).

2) Orientación del haz pincel este:

Rx del satélite (enlace asc. 14 GHz) Horizontal (paralela al eje de balanceo).

Tx del satélite (enlace desc., 11 GHz) - Vertical (paralela al eje de cabeceo).

Las polarizaciones de los haces pincel oeste y este están orientados en sentido opuesto (ortogonal) en el satélite.

b) Detalles técnicos de la modificación del satélite INTELSAT IS-VB.

b.1 Cobertura de las antenas.- La cobertura de los haces pincel en el IS-VB es similar al del IS-VA. Para la cobertura global, el enlace de bajada es conmutable por comando terrestre a dos haces pincel de 5° en la banda C, producidos por dos bocinas separadamente y dirigidos por dos reflectores comunes a los haces pincel de la banda C y K. Así el haz pincel con polarización A (banda C) y el haz pincel oeste (banda K) son dirigidos conjuntamente por un mismo reflector, similarmente el haz pincel este (banda K) y el haz pincel con polarización B (banda C) son dirigidos también por un reflector común.

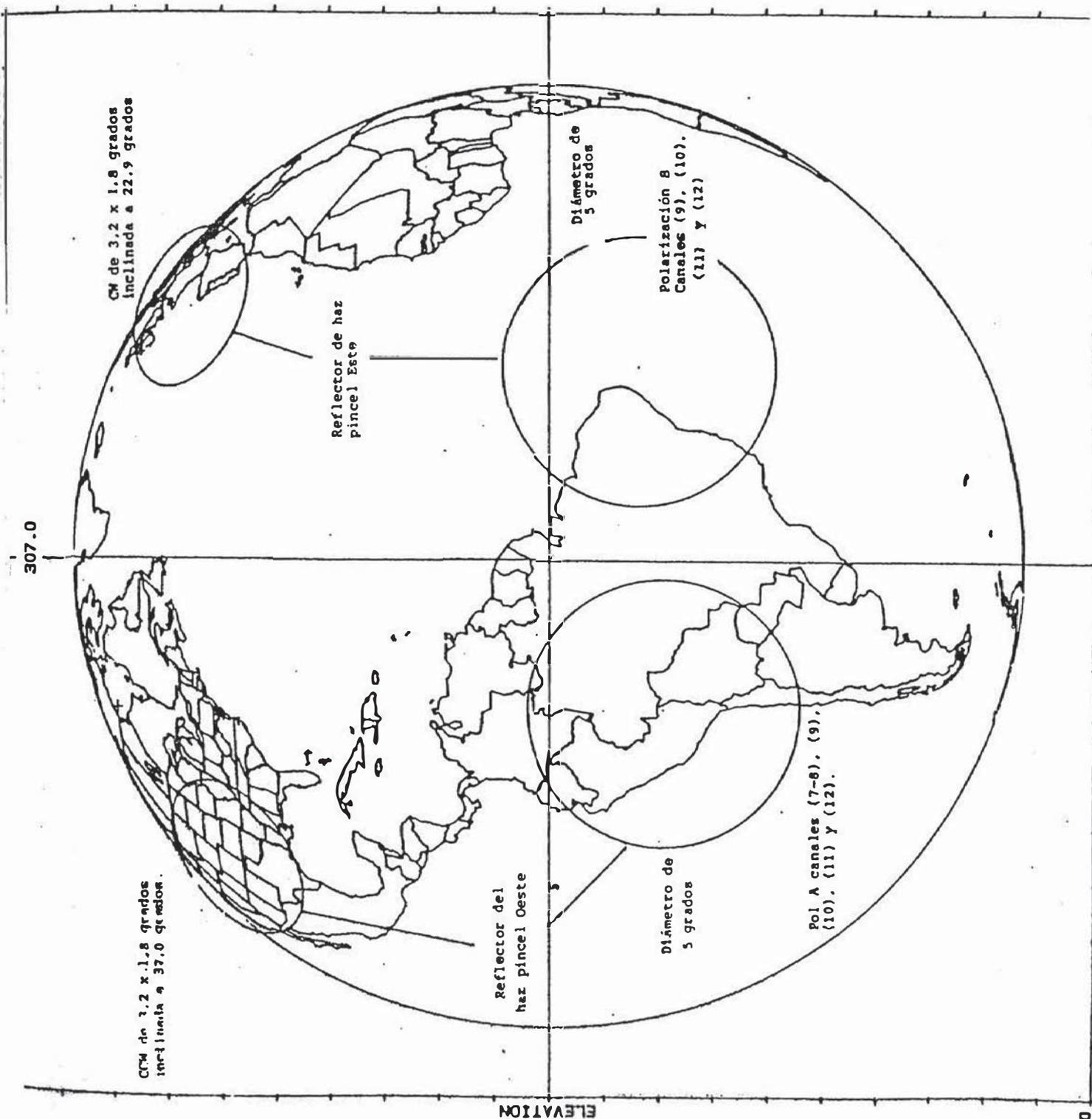
Se ha anticipado que INTELSAT emplazará cualquiera (F-14) o (F-15) de los IS-VB a la posición 307° E. La Fig. - 25 muestra los haces pincel de la banda C y K de los IS-VB en esta ubicación

Ubicaciones relativas de los haces pincel de las bandas K y C para los satélites I-VB sin modificar.

Notas:
1. Haces pincel de banda K orientados para prestar servicios IBS entre la Costa Oeste de EE.UU y Europa.

2. Las coberturas indicadas están en las especificaciones actuales del I-VB

FIG. - 25

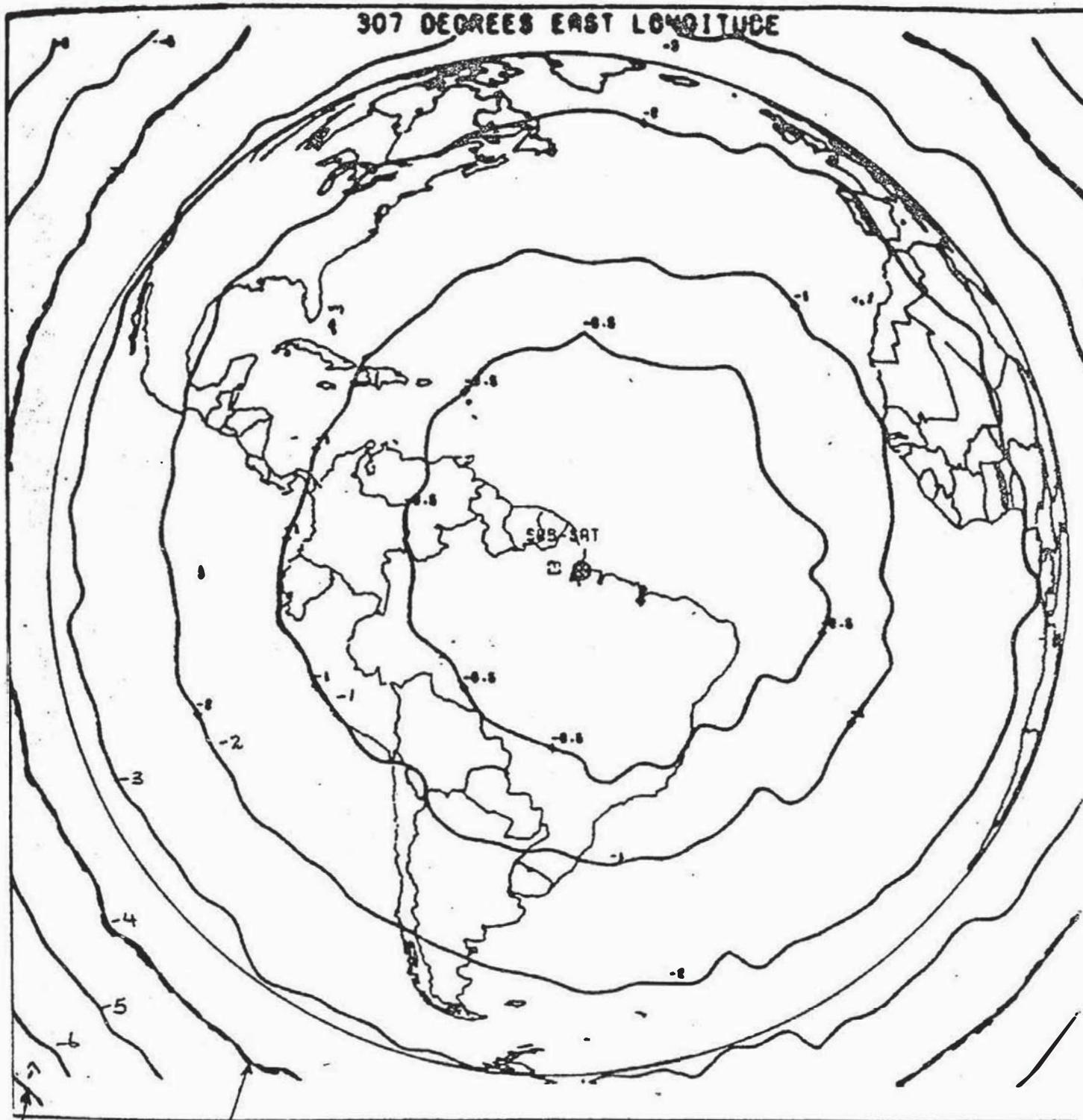


cuando el haz pincel de la banda K se destina para IBS a la costa oeste de U.S.A y Europa; en esta configuración solamente hay dos países (Perú y Bolivia) en Sud América que pueden beneficiarse de uno de los haces pincel en la banda C. Por esto se decidió desplazar el haz pincel este de la banda C para dar acceso a un gran e.i.r.p a muchos más países Sud Americanos. Para esto, la posición relativa de los haces fueron optimizados para la localización orbital de 307° E, a fin de prestar el servicio simultaneo de IBS y doméstico. La modificación que se adoptó, consiste en un reposicionamiento de la bocina de la banda C, manteniendo los haces globales de subida.

Los satélites Intelsat VA (F14 y F15) tienen nueve transpondedores que pueden recibir señales por medio de una antena de haz global de 6 GHz. y conectar las salidas a dos antenas transmisoras de haz pincel de 4 GHz. Cada uno de los haces pincel de banda C suministrará el desempeño especificado dentro de un haz circular de aproximadamente 5° proyectado sobre la superficie terrestre desde la órbita geoestacionaria. Los txp's estan divididos en dos grupos: el grupo 1 con polarización A, que consta de 5 txp's (72MHz.(1),36MHz.(3), y 41MHz.(1)) y el grupo 2 con polarización B, que consta de 4 txp's (36MHz.(3), y 41MHz.(1)). Cada grupo se puede conectar a una antena transmisora de haz pincel. La capacidad de conmutación proporcionada es tal que cualquiera de los dos grupos de txp's se puede conmutar a su correspondiente antena de haz pincel independientemente del otro grupo. Todos los txp's son conmutados en bloque y siempre a la misma antena de haz pincel.

Cada uno de los haces de banda C es orientable por separado sobre la superficie terrestre, a fin de poder colocar el borde de la cobertura sobre cualquier punto visible. Dado que los dos haces pin-

Fig. 26 TYPICAL INTELSAT (F14 AND F15) GLOBAL BEAM RECEIVE ANTENNA
PATTERNS FOR THE SATELLITE LOCATED AT 307°E LONGITUDE
(antenna beam pointing errors not included)

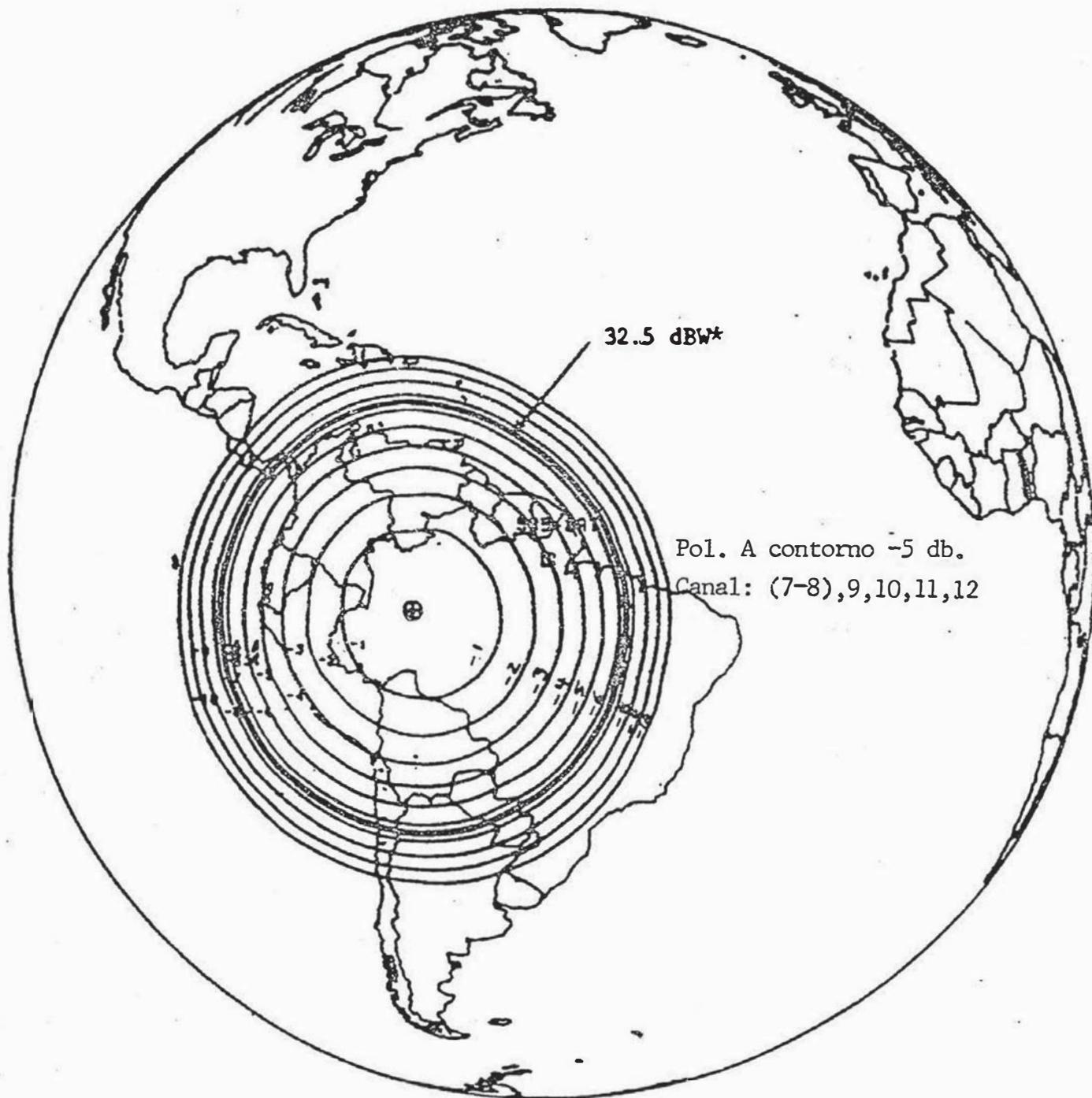


G/T = -16 dB/K

spec. $\Psi_s = -77.6 \text{ dBW/m}^2$ (High Gain)

Figure 27. TYPICAL INTELSAT VA (F14 AND F15) C-BAND SPOT-BEAM (A-POL) TRANSMIT ANTENNA PATTERNS FOR THE SATELLITE LOCATED AT 307°E LONGITUDE
(antenna beam pointing errors not included)

307 DEGREES EAST LONGITUDE

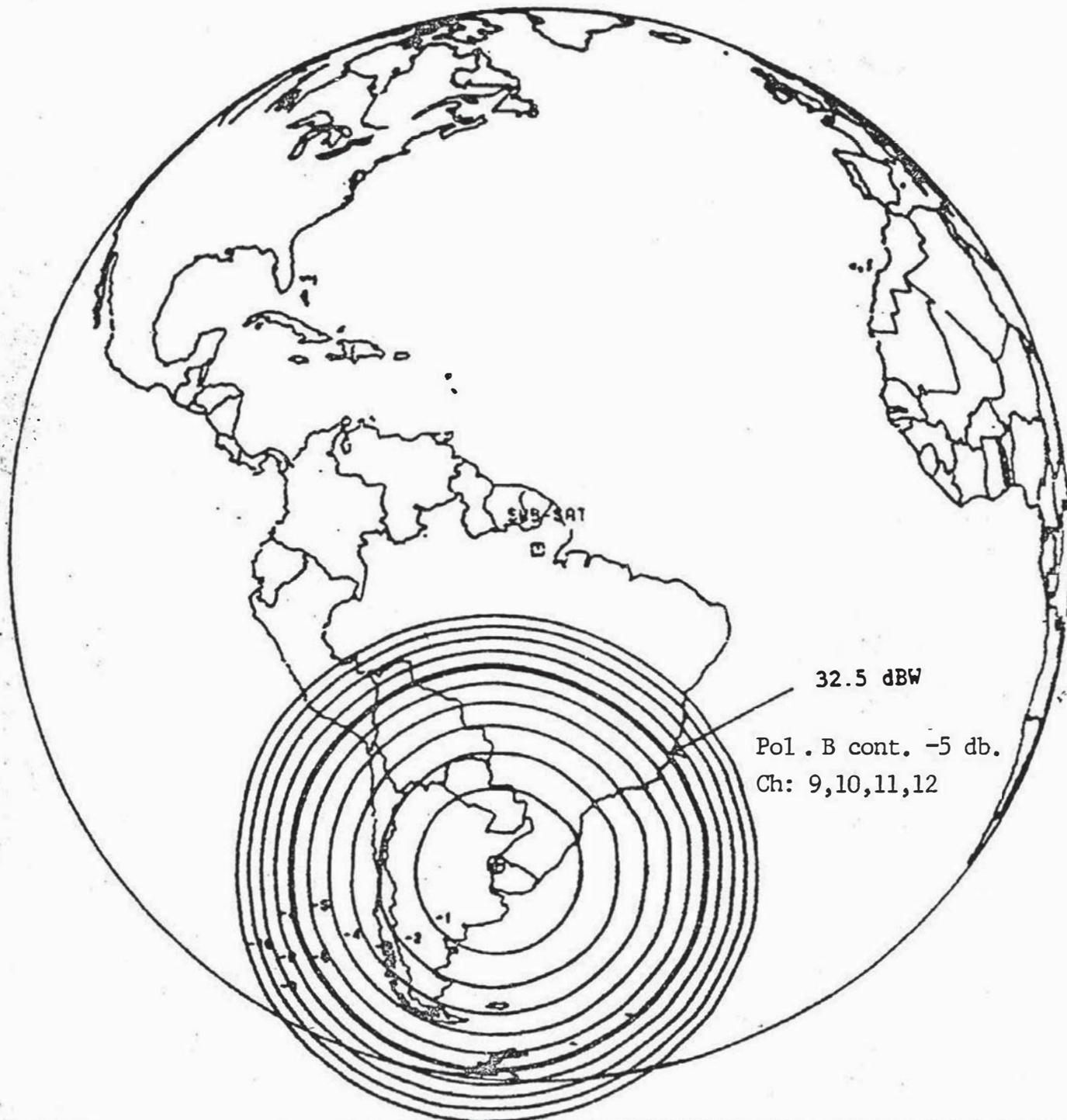


*35.5 dBW for transponder (7-8)

A Pol: Satellite Receive (Uplink) Left Hand Circular Polarization
Satellite Transmit (Down-Link) Right Hand Circular Polarization

Figure 28 TYPICAL INTELSAT VA (F14 AND F15) C-BAND SPOT-BEAM (B-POL)
ANTENNA PATTERNS FOR THE SATELLITE LOCATED AT 307°E LONGITUDE
(antenna beam pointing errors not included)

307 DEGREES EAST LONGITUDE



B Pol: Satellite Receive (Up-Link) Right Hand Circular Polarization
Satellite Transmit (Down-Link) Left Hand Circular Polarization

cel de transmisión en banda C operan con polarización circular ortogonal, en caso necesario se pueden traslapar las zonas de cobertura. La fig. -26 muestra la proyección sobre la Tierra de los diagramas de radiación característicos de una antena receptora de haz global de un satélite Intelsat VA ubicado a 307° E. Las figuras 27 y 28 muestran los diagramas de radiación característicos de una antena transmisora de haz pincel en banda C de los haces de polarización A y B, respectivamente de los satélites Intelsat (F14 y F15) proyectados sobre la Tierra desde la posición a 307° longitud este.

b.2 Características adicionales .-

- Estabilización - El IS-V es estabilizado en tres ejes con la finalidad de aumentar su eficiencia. Tiene una variación de ± 0.1 (grados) en los ejes N-S / E-W. En esta configuración los paneles solares siempre están mirando al Sol.
- Vida útil según diseño: 7 años

3.6 Sistema DOMSAT .

El término DOMSAT se ha establecido para indicar el Sistema Doméstico de comunicaciones por satélite dentro de las fronteras de un país en particular. Un país que desee un sistema DOMSAT tiene la opción de obtener su propio satélite o alquilar capacidad (transpondedor) en un satélite existente.

3.6.1 Sistema Doméstico con Segmento Espacial de INTELSAT

Como los satélites INTELSAT poseen una vida útil relativamente

corta para la ejecución de maniobras, desde mediados de 1970 se ha venido usando la vida residual de algunos satélites y los de reserva para los servicios domésticos.

El Sistema DOMSAT tiene amplia flexibilidad referente a los parámetros de transmisión, particularmente el G/T, plan de frecuencias y modulación empleada. No obstante deberá estar conforme con los estándares de INTELSAT a fin de prevenir interferencias con otros sistemas. Esta flexibilidad ha resultado en una variedad de parámetros de transmisión muchos de los cuales cumplen con las normas de INTELSAT. Entre los parámetros no estandarizados, los más importantes en operación son los siguientes:

- G/T .- Dato que en el DOMSAT se puede elegir la calidad de servicio, en muchos casos se puede disminuir el G/T a fin de utilizar estaciones terrenas más económicas.
- Plan de frecuencias .- Como el Sistema DOMSAT tiene que operar dentro de los límites de frecuencia del transpondedor alquilado, existe una considerable libertad para elegir un plan de frecuencia. Por ejemplo se puede decidir aumentar la capacidad de canales del ancho de banda alquilado a costa de una disminución en la calidad del servicio.
- Modulación .- Hay tres métodos de modulación muy usados en los sistemas DOMSAT para transmisiones SCPC.
 - . Modulación de Frecuencia - CFM *
 - . Modulación PCM
 - . Modulación Delta - DM.

* El más usado.

Las estaciones terrenas que tengan acceso al segmento espacial de INTELSAT para servicios nacionales deben satisfacer ciertas normas en cuanto al diseño y desempeño se refiere:

- . Niveles de potencia de transmisión hacia satélites adyacentes.
- . Compatibilidad con operación en polarización doble circular en todos los futuros satélites INTELSAT (V, V-A, VI)
- . Niveles de intermodulación en la transmisión
- . Idoneidad de la antena para seguir las variaciones diarias de posición del satélite y plena orientabilidad para adaptarse a las pruebas y cambios en la asignación del satélite.
- . Idoneidad para variar las frecuencias de portadoras y los niveles de potencia de transmisión para ajustarse a diferentes niveles de reutilización de frecuencias

NOTA: En el Cuadro siguiente se resumen las características de funcionamiento obligatorias.

Los parámetros de transmisión seleccionados para el Sistema DOM-SAT dependerá mucho del transpondedor del Satélite y del tipo de haz disponible.

A fin de atender las necesidades de pequeños usuarios, se establecieron definiciones para el alquiler de capacidad de un transpondedor completo (36 MHz), medio transpondedor (18 MHz) y un cuarto de transpondedor (9 MHz).

Es probable que el TXP sea compartido con otros sistemas por lo que se debe considerar un back-off a fin de mantener la distorsión por intermodulación dentro de límites aceptables. Con frecuencia sucede que un país alquila una parte de un transpondedor y la parte restante no se utiliza durante mucho tiempo; en este caso el arrendatario podrá calcular un plan de transmisión como si hubiera una densidad uniforme de ruido de intermodulación igualmente distribuída a lo largo de la anchura de banda alquilada. Dicha técnica simula los efectos de la intermodulación en

1 de abril de 1986

**CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO OBLIGATORIAS
POR TIPO DE ESTACION TERRENA**

	A 201	B 202	C 203	D 204	E 205	F 206	G BG-60-60	Z BG-52-75
G/T	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	BASADA EN SU APLICACION	
GANANCIA DE TRANSMISION(*)	1.2	1.2.2	1.2	1.2.1	1.2	1.2.1	3.1.1(D)	3.1.1.(B)
LOBULOS LATERALES DE TRANSMISION DE LAS ANTENAS EXISTENTES	1.2.2(A)	1.2.3.1(A)	1.2.1(A)					
LOBULOS LATERALES DE TRANSMISION DE LAS ANTENAS NUEVAS	1.2.3(A)	1.2.3.2(A)	1.2.2(A)	1.2.2.2	1.2.2	1.2.2.2	3.1.1(D)	3.1.1(D)
POLARIZACION REQUERIDA	1.3.1	1.3.1	1.3.1	1.3.1	1.3.1	1.3.1	3.1.2.1	3.1.2.1
RELACION AXIAL	1.3.2	1.3.2	1.3.2	1.3.2		1.3.2	3.1.2.2	3.1.2.2
ORIENTABILIDAD DE LA ANTENA	1.4.1	1.4.1	1.4.1		1.4.1	1.4.1		
REQUISITOS DE SEGUIMIENTO	1.4.2	1.4.2	1.4.2		1.4.2	1.4.2		
RECEPTORES DE BALIZA	1.4.2.2	1.4.2.2		1.5.1		1.4.2.2	3.1.3.2(A)	3.1.3.2.(A)
ANCHURA DE BANDA DEL SISTEMA ALIMENTADOR RF	2.2	2.2	2.2	2.2.1	2.2.1	2.2.1	3.2.1	3.2.1
ANCHURA DE BANDA DEL SISTEMA RECEPTOR	2.3	2.2	2.3	2.2.2				
ANCHURA DE BANDA DEL SISTEMA TRANSMISOR	2.4	2.4	2.4	2.2.2				
STABILIDAD DE LA P.I.R.E.	**	**	**	**	**	**	3.1.3.4	3.1.3.4
DEVIANCIA DE FRECUENCIA DE LA PORTADORA	**	**	**	**	**	**	3.2.2	3.2.2
EMISIONES FUERA DEL HAZ EN BANDA C	**	**	**	**	**	**	3.3.1(B)	3.3.1(B)
EMISIONES FUERA DEL HAZ EN BANDA K	**	**	**	**	**	**	3.3.1(C)	3.3.1(C)
EMISIONES PARASITAS (EXCEPTO INTERMOD.)	**	**	**	**	**	**	3.3.2	3.3.2
EMISIONES PARASITAS (INTERMOD.)	**	**	**	**	**	**	3.3.3	3.3.3
LOBULOS LATERALES ESPECTRALES DE LA PORTADORA	**	**	**	**	**	**	3.3.4	3.3.4
ESTABILIDAD PARA VARIAR LA FRECUENCIA	**	**	**	**	**	**	3.4	3.4
NIVEL DE LA ESTACION TERRENA	**			3.2	3.2	3.2	3.7	3.7
REQUISITOS EN MATERIA DE CIRCUITOS DE SERVICIO (ISS-403)							3.5	3.5
ESTABILIDAD DE LA PORTADORA	**	**	**	**	**	**	3.6.2	

LA GANANCIA DE TRANSMISION DEBERA SER MEDIDA AUN CUANDO SU VALOR ESPECIFICO NO SEA EL ESPECIFICADO EN LAS CARACTERISTICAS OBLIGATORIAS, YA QUE DICHO VALOR ES NECESARIO PARA EVALUAR LOS LOBULOS LATERALES DE TRANSMISION

ESTAS CARACTERISTICAS FORMAN PARTE DE LAS NORMAS DE MODULACION Y ACCESO, Y NO SE SOMETEN A PRUEBA COMO PARTE DE LA VERIFICACION DE LAS NORMAS DE ESTACION TERRENA.

un transpondedor totalmente cargado. En el caso de los alquileres en 6/4 GHz en los INTELSAT V y VA se supone una densidad uniforme de -40 dbw/4KHz valor que corresponde a -25 dbw/4 KHz en 14/11 GHz. Entre tanto el ruido de intermodulación depende del E.I.R.P. de transmisión de las portadoras, de tal forma que cualquier variación en ésta , afecta la calidad de los circuitos de las otras portadoras que usan el mismo transpondedor.

La Fig. — 29 muestra una estación maestra de un Sistema DOMSAT que mantiene muchos de los conceptos técnicos discutidos anteriormente. La estación maestra tiene una antena de 13 mts. y un LNA de 65 K (FET) que opera con varias clases de sub estaciones.

En muchos sistemas se usa compansión (compresión-expansión) que se refiere a la técnica por la cual el nivel de la señal analógica es comprimida antes de la transmisión y expandida luego en la recepción. Esto permite disminuir la carga a los equipos de transmisión, la cual puede traducirse en una mejora sustantiva del S/N. La mejora depende del nivel de la señal analógica, y está en el rango de 10-17 db. En los canales digitales se emplea un código corrector de errores, que mejora sustancialmente el BER.

La Fig. — 30 muestra una estación remota equipada con varios canales SCPC y recepción de TV., La Fig. — 31 muestra una estación equipada con un canal SCPC y recepción de TV. y la Fig. — 32 muestra la implementación de un sistema de transmisión digital.

3.6.2 Uso de la Técnica de Transmisión SCPC en Redes Domésticas .-

La técnica de transmisión SCPC facilita una máxima capacidad de transmisión de los transpondedores operando en el modo F.D.M.A.

Esto se debe al uso de portadores activados por voz y a la eficiencia de los métodos de modulación. También provee al sistema de gran flexibilidad para hacer frente a la expansión de tráfico y cambios en su distribución. Estas ventajas pueden ser sustancialmente mejoradas con la introducción de la técnica de acceso múltiple asignado por demanda (DAMA) que combinada con el sistema SCPC permite la utilización óptima de la potencia y el ancho de banda del satélite, que son particularmente útiles en redes que cuentan con estaciones terrenas de bajo tráfico. La primera aplicación de la técnica de transmisión SCPC fue en el sistema SPADE de INTELSAT, que es un sistema descentralizado de asignación por demanda usando codificación PCM y modulación PSK/4 \emptyset , a una velocidad de transmisión por canal de 64 K bit/Seg. y con espaciamento de portadora de 45 KHz. Hay tres tipos de técnicas de codificación y modulación que generalmente se usan en transmisiones SCPC:

- (.) 64 K bit/s PCM-4 \emptyset P.S.K. usado solamente por INTELSAT, en SPADE y también en circuitos pre-asignados usados en estación standard B. Requiere de 45 KH de espaciamento por portadora.
- (.) 32 K bit/s Delta 2 \emptyset P.S.K. usado en muchos sistemas domésticos con 45 KH de separaciones entre canales, con P.S.K. de 4 \emptyset la separación de portadora es de 22.5 KH.
- (.) FM de Banda angosta (N.B.F.M.) Es actualmente el más usado en redes domésticas con técnicas SCPC. Requiere de compansión, expansión para obtener la calidad de transmisión especificada. El espaciamento de portadora es de 22.5 KHz a 60 KHz, dependiendo de la optimización del sistema; la excursión de frecuencia se ajusta en concordancia.

Los sintetizadores de frecuencia proveen cualquier F.I. entre 52 y 88 MHz a un espaciamiento definido y pueden ser controlados localmente en sistemas preasignados, o ser externamente controlados en sistemas que usan D.A.M.A.

Los sistemas Delta de 32 K bit/s y N.B.F.M. brindan mayor eficiencia de transmisión que P.C.M./P.S.K. y permite por tanto el uso de estaciones terrenas pequeñas.

Estimaciones actuales de costo indican que la FM compandida es la técnica de modulación óptima para redes de poco tráfico, y la más transparente, o sea que causa menos distorsión a otras señales que son transmitidas por líneas telefónicas, tales como telegrafía VF, dato + voz, etc. Además también se puede enviar pulsos de medición a través del mismo canal. Esto no es posible con Delta ni con PCM a menos que se emplee multiplex por división de tiempo de la señal de voz y la señal de medición, la cual significa una unidad de canal sustancialmente más complicada.

La Fig. - 33 muestra un diagrama de bloques simplificado de un canal SCPC/FM, incluyendo una interfase terrestre y su integración con los equipos comunes de una terminal SCPC.

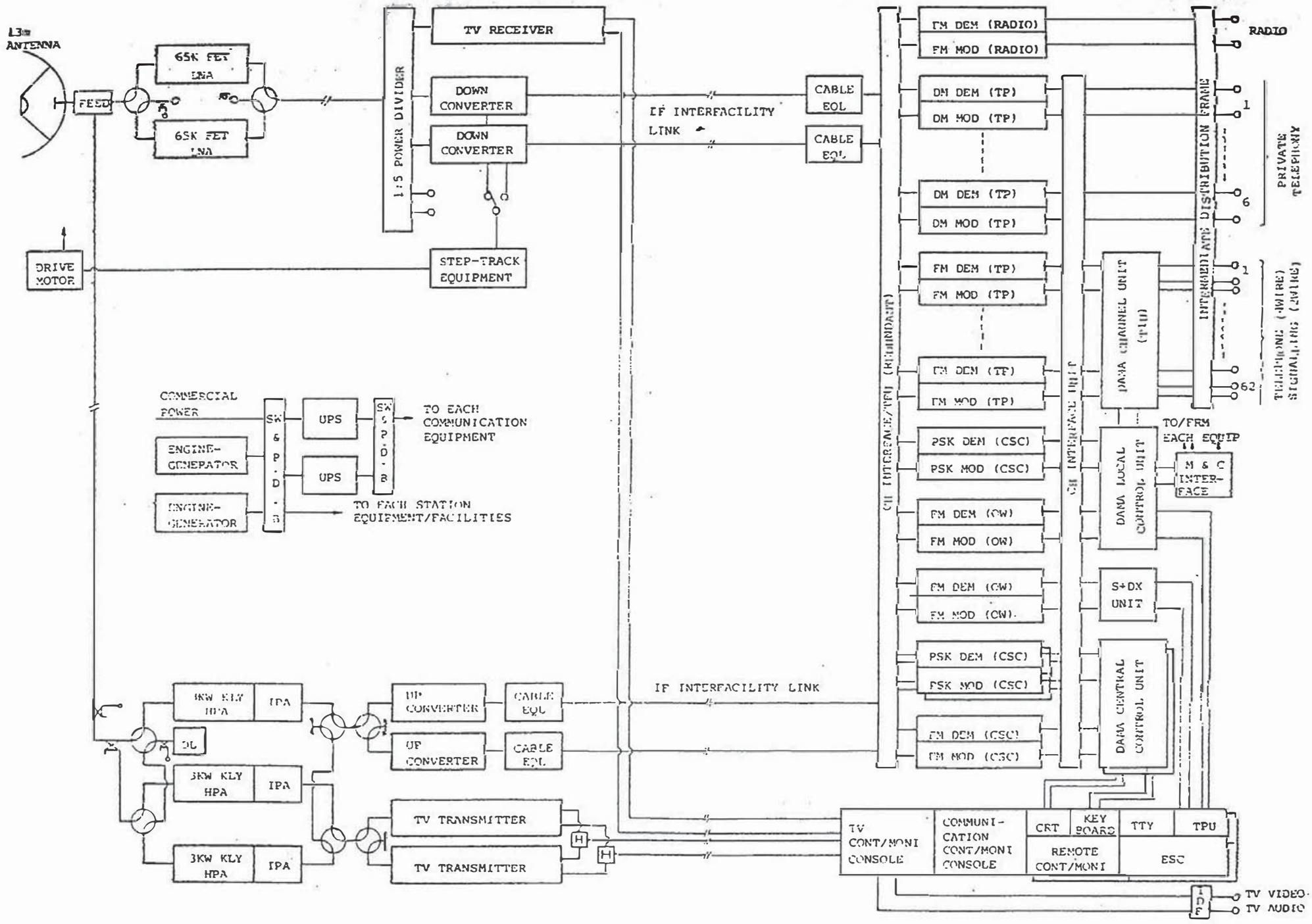
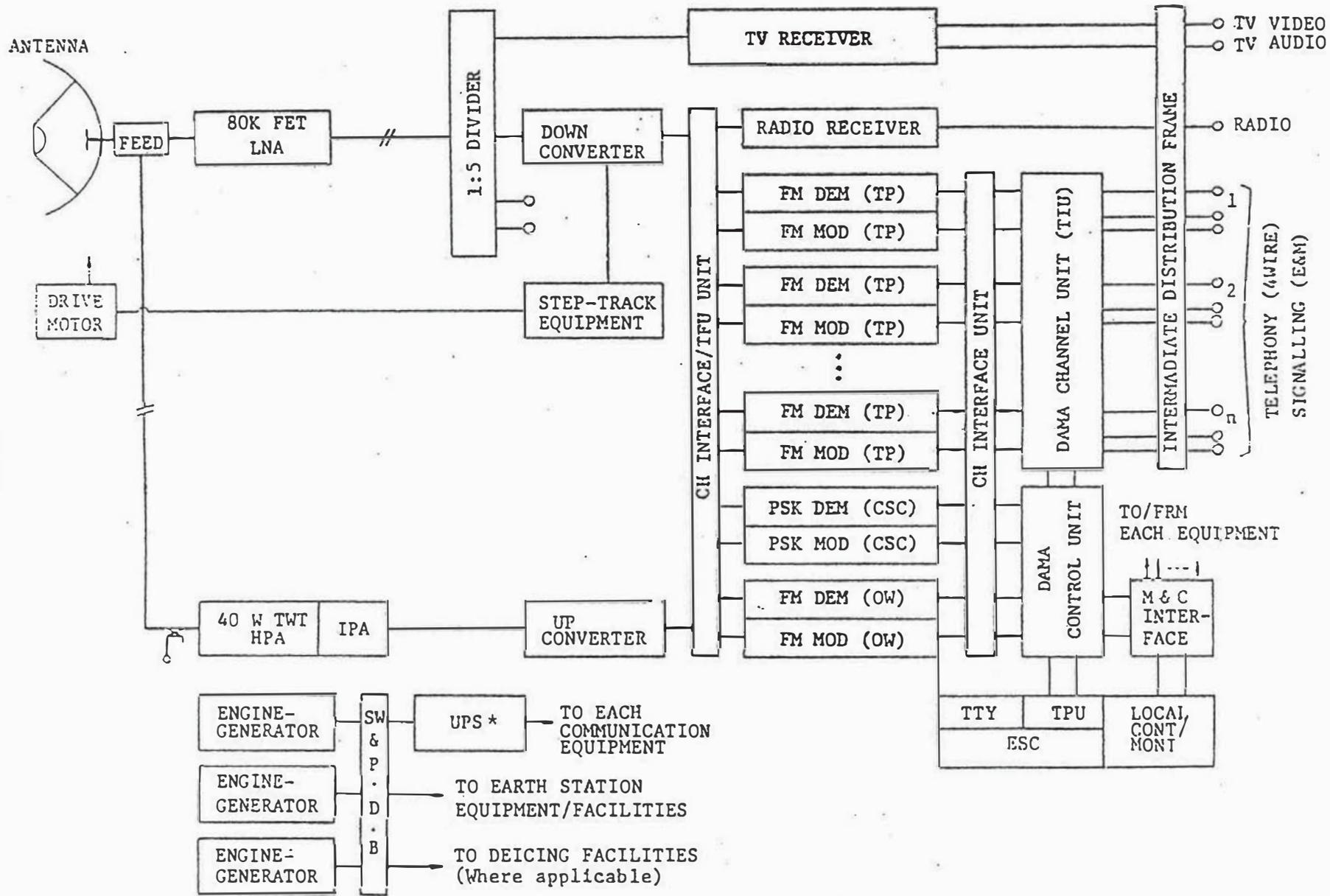


FIG. - 30 ESTACION REMOTA



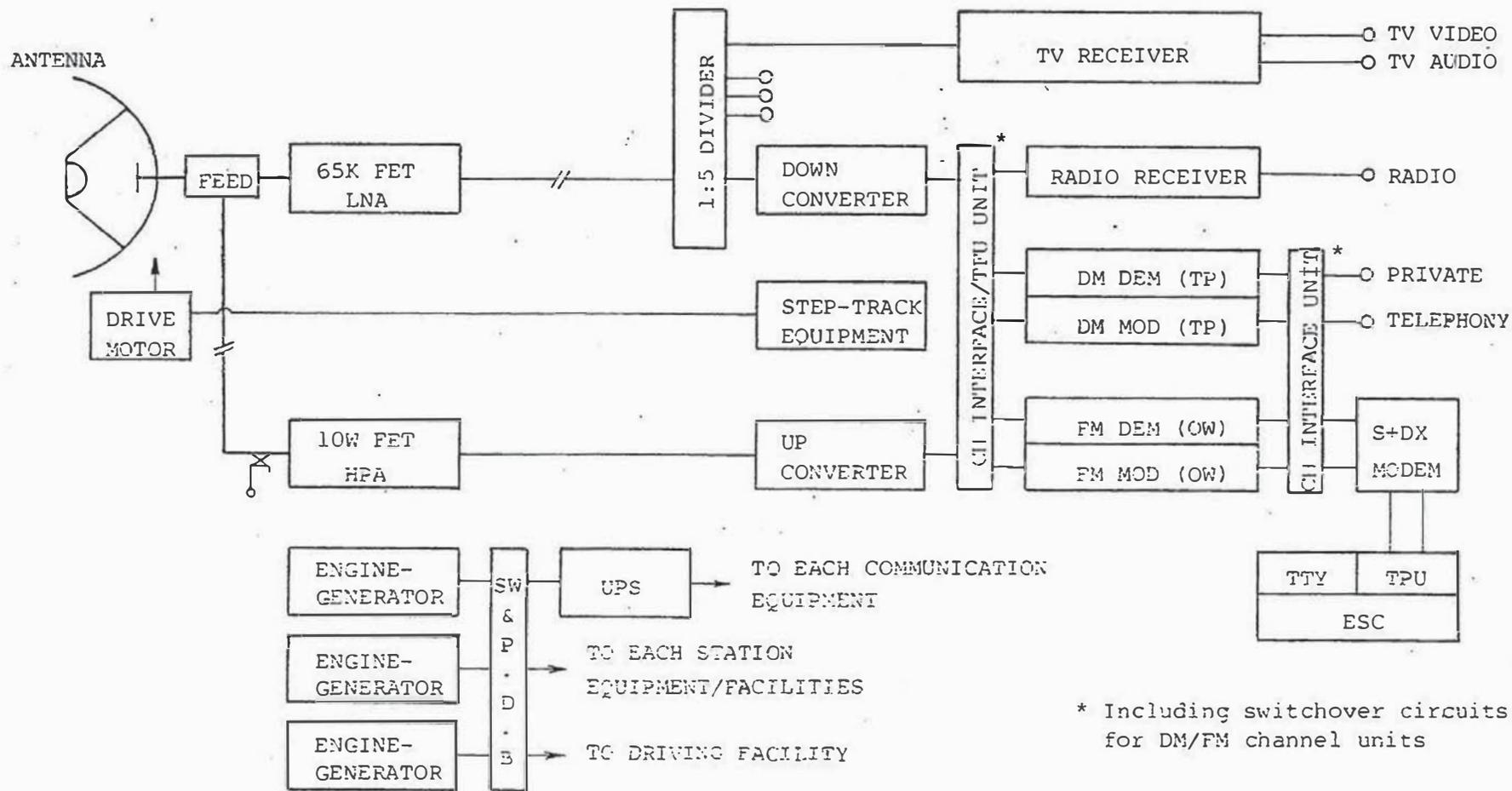


FIG. - 31 DIAGRAMA DE UNA ESTACION REMOTA RURAL

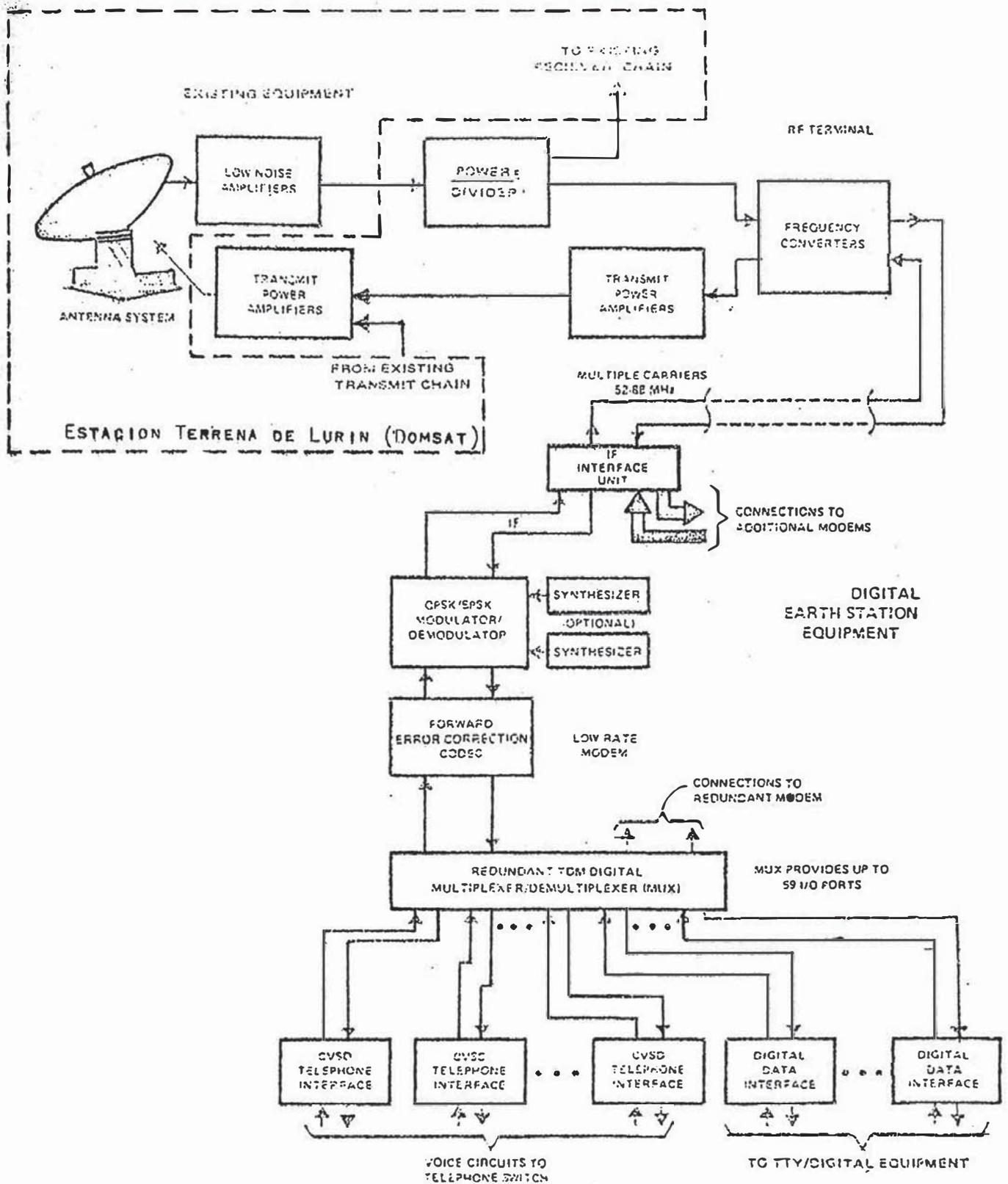


FIG. - 32 -a- DIAGRAMA DE BLOQUE DE UNA ESTACION MASTER DIGITAL

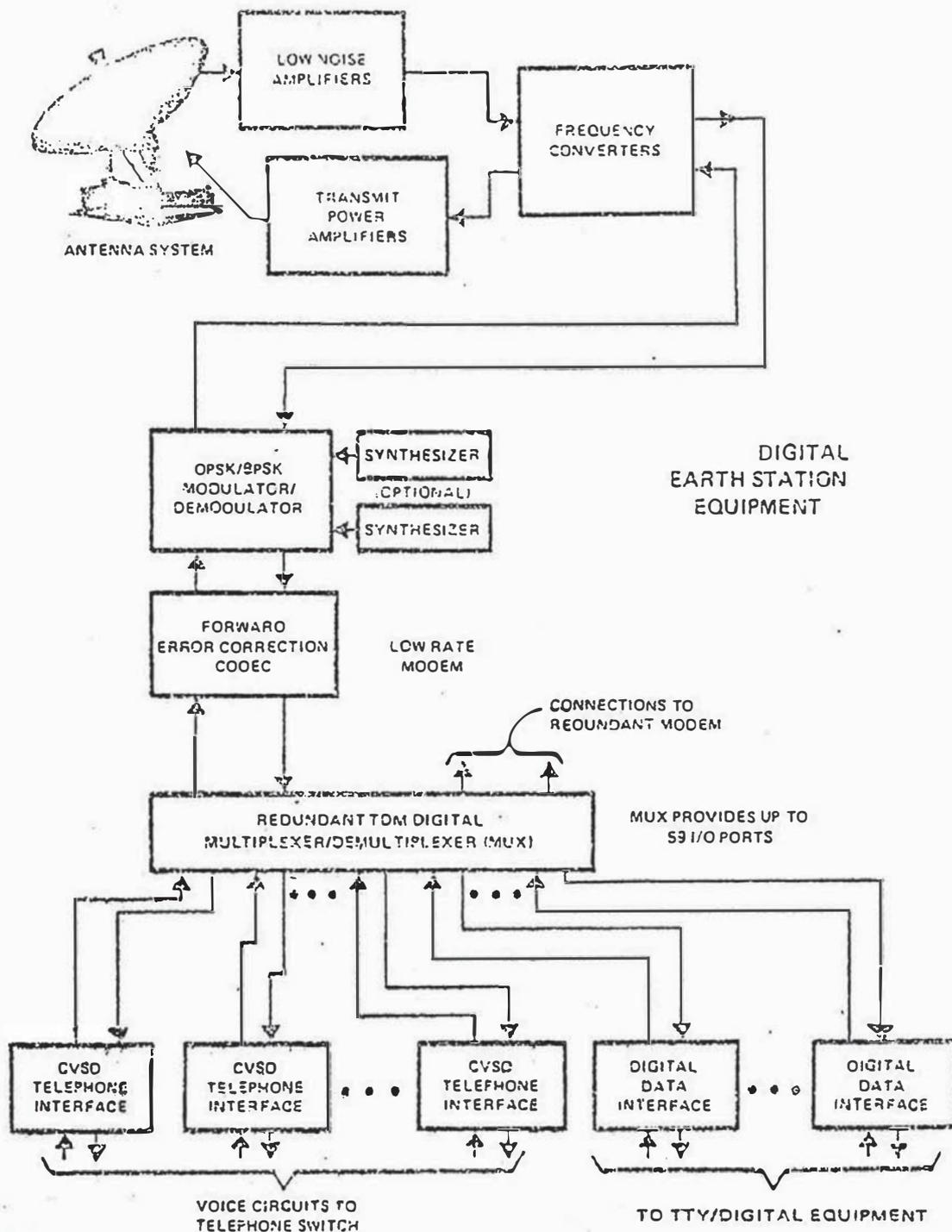


FIG. - 32 -b- DIAGRAMA DE BLOQUE DE UNA ESTACION RURAL DIGITAL.

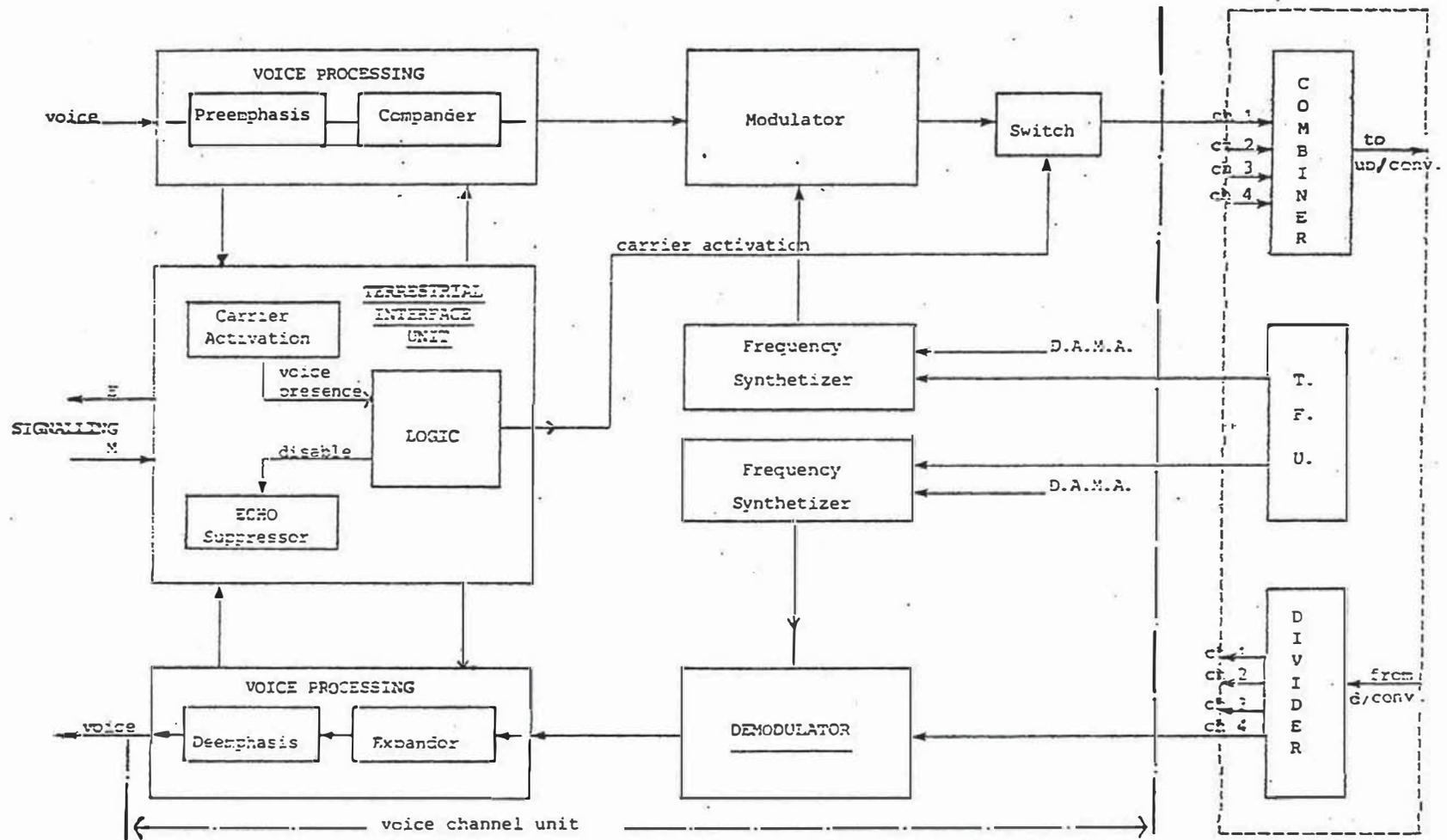


Fig. - 33 Unidad de canal SCPC.

4. CALCULOS DE CAPACIDAD POTENCIAL SCPC DE UN TRANSPONDEDOR DEL SATELITE IS-VB MODIFICADO

4.1 Parámetros de Diseño

4.1.1 S/N .- La relación de nivel entre la señal de tono de prueba y el ruido (S/N), en un canal de voz para SCPC/FMC, se calcula de la siguiente fórmula:

$$S/N_s = C/T_t + 10 \log \frac{3f_s^2}{f_x^3 - f_y^3} - K + E + W + C$$

Donde:

C/T_t : Relación del nivel de portadora a temperatura de ruido (dbw/°K)

f_s : Desviación de frecuencia r.m.s. de la portadora de telefonía (Hz)

f_x : Frecuencia alta de la banda base de la señal telefónica = 3,400 Hz

f_y : Frecuencia baja de la banda base de la señal telefónica = 300 Hz

K : Constante de Boltzmann's = -228.6 dbw/°KHz

E : Mejora por énfasis

W : Factor de ponderación psfométrica

C : Mejora por expansión

Las especificaciones del CCIR (Rec. 353-3) y de INTELSAT establecen un nivel máximo de ruido térmico y de intermodulación menor que 10,000 pw psfométricamente medido para un canal telefónico en un punto de referencia de nivel cero.

El S/N de un canal se mejora con el uso de una red énfasis y un compansor silábico y por ponderación psfométrica.

a) Mejora por énfasis

Se usa en el MODEM del canal y su efecto depende del ruido triangular y plano. El ruido triangular es causado principalmente por el ruido térmico en la ruta de transmisión y es dominante en el C/T operacional; por esto la mejora con respecto al ruido triangular es importante.

Consideramos en este estudio una red énfasis que tiene una característica de la constante de tiempo (τ) igual a 159 uSeg.

$$E = 10 \log \left[\frac{a^3}{3 \left[a - (\pi/180) \text{ arc tg } a \right]} \right] - \text{Att}$$

donde:

$$a: \quad 2\pi f_x \tau$$

Att: (para un tono de prueba de 1000 Hz) = 3 db

$$\text{si } \tau = 150 \text{ uSeg ; } a = 2\pi 3400 \times 159 \times 10^{-6} = 3.397$$

$$\text{Luego } E = 7.9 - 3 = 4.9 \text{ db}$$

b) Mejora por Compansión Silábica (Rec. G.162 del CCIT)

La ley de compansión es 2:1 y el nivel no afecto es 0 dbmo.

Mediante el uso del compansor se mejora considerablemente la calidad subjetiva de la señal de voz, cuando está deteriorada por el ruido del trayecto de transmisión. La mejora del compansor es atribuible al aumento del nivel de transmisión para

las personas cuyo nivel de voz es más bajo que el nivel no afecto. Esta es la mejora objetiva y puede medirse o ser calculada conociendo las propiedades estadísticas de la señal de voz.

Por otra parte la mejora del expansor puede ser estimada solamente por pruebas subjetivas. Durante las pausas de la voz el expansor suprime el ruido debido a que su nivel es mucho más bajo que el nivel no afecto, esto hace que la señal de salida del expansor sea más agradable de escuchar al oído que la señal no compandida.

De la Fig. — 34 se determina una mejora de S/N en:

$$C = 17 \text{ db}$$

c) Mejora por ponderación

Asumiendo que la curva de ruido es plana después del énfasis, la ganancia determinada por una ponderación psfométrica es aproximadamente:

$$W = 2.5 \text{ db}$$

Si obviamos la contribución de ruido de las interconexiones terrestres, la relación señal a ruido (S/N) para un tono de prueba de 0 dbmo es: 50 db (Rec.-353-3 CCIR), pero debido a la aplicación del circuito pre de énfasis, a la ganancia del compansor y a la ponderación psfométrica el S/N final será:

$$S/N = 50 - 17 - 4.9 - 2.5 = 25.6 \text{ db}$$

4.1.2 Espaciamiento entre Portadoras

Para obtener este valor actualmente los sistemas de satélites emplean espaciamientos entre canales de 60, 45, 30 y 22.5 KHz. La Fig. — 34 demuestra algunos factores importantes en la conformación de un canal FM que son dependientes de la separación entre canales, se observa también que con espaciamientos mayores a 30 KHz se requieren de portadoras más débiles pero entonces se estaría muy próximo al nivel umbral de FM de manera que el margen contra desvanecimiento sería demasiado angosto, además la frecuencia de ruido de chasquido producido por el demodulador de extensión umbral sería mayor. Por esta razón, y naturalmente como se intenta acomodar tantos canales como sea posible en un transpondedor de 36 MHz de ancho de banda, los espaciamientos de 22.5 KHz y 30 KHz son los más apropiados.

4.1.3 Ancho de Banda necesario (BW_{IF})

El desvío de frecuencia IF para un tono de prueba de 0 dbmo, 1000 Hz es:

3.3 KHz r.m.s. para 22.5 KHz de espaciamiento

4 KHz r.m.s. para 30 KHz de espaciamiento

5.5 KHz r.m.s. para 45 KHz de espaciamiento

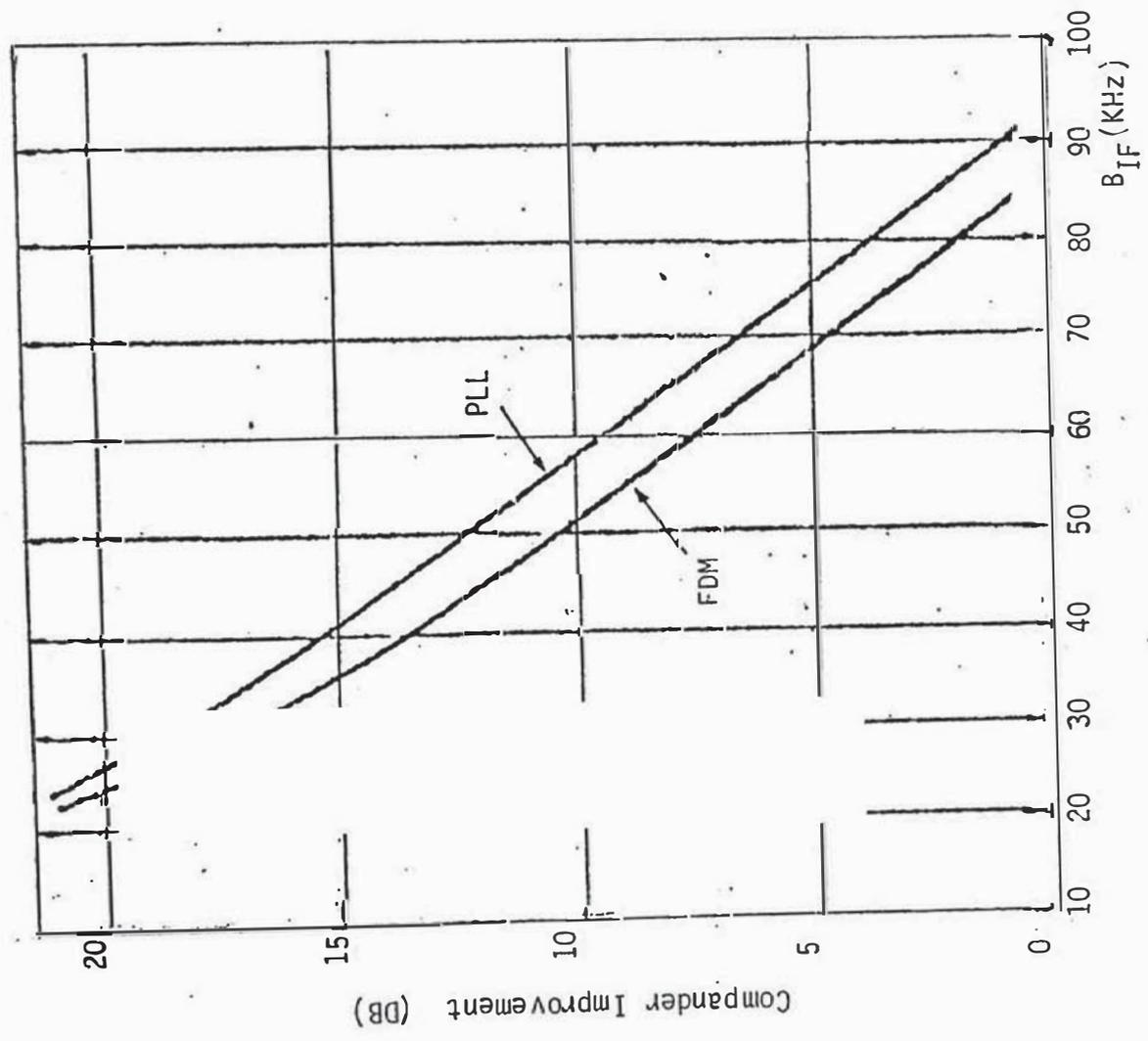
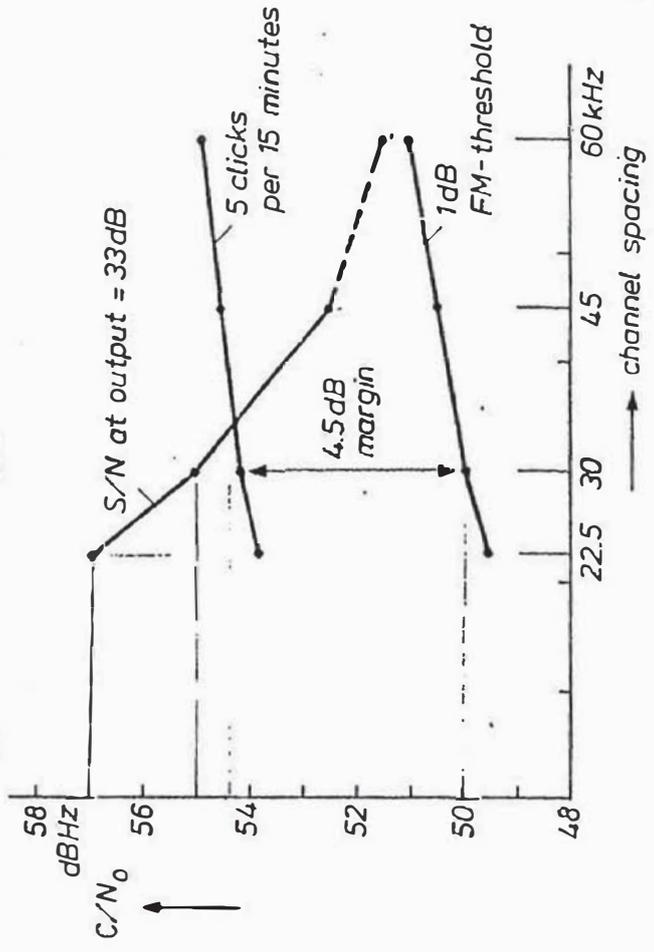
6.1 KHz r.m.s. para 60 KHz de espaciamiento

La limitación de amplitud es + 4 dbmo a 1000 Hz con compansor. Como el nivel máximo de entrada (+ 4 dbmo) estará a + 2 db con respecto al tono de prueba después de la compansión de 2:1, entonces:

FIGURA - 34

C/N_0 necessary (carrier-to-noise ratio per Hz. bandwidth) to obtain some important system parameters in an FM SCPC System, as a function of the channel spacing.

Ch. spacing.	TT deviation	Nº of Channel
22.5 khz.	3.3 khz.RMS	1600
30	4	1200
45	5.5	800
60	6.1	600



Compander Improvement for FDM and PLL

C/N_0 necessary as a function of the Channel spacing.

$$f_{sp} = (\text{Factor pico}) \times \sqrt{2} \times f_s$$

$$f_{sp} = \text{Antilog} \left(\frac{2}{20} \right) \times \sqrt{2} \times 3.3 \text{ KHz} = 5875 \text{ Hz}$$

Luego el ancho de banda se determina con la regla de Carson

$$Bw = 2(f_{sp} + f_u) = 2(5875 + 3400) = 18550 \text{ Hz}$$

4.1.4 C/No : (db Hz) .- La relación de portadora/ruido en db para 22.5 KH de espaciamento se deduce de la relación siguiente:

$$\left(\frac{C}{N_o} \right)_t = 25.6 \text{ db} - 10 \log \frac{3 f_s^2}{f_x^3 - f_y^3} + 0.5 \text{ db (Margen)}$$

$$\left(\frac{C}{N_o} \right)_t = 56.8 \text{ dbHz}$$

$$y \left(\frac{C}{N} \right)_t = \left(\frac{C}{N_o} \right)_t - BW = 14 \text{ db (requerido)}$$

4.1.5 Figura de Mérito G/T .- Es una medida de la sensibilidad total al ruido equivalente del sistema de recepción, referido a la entrada del receptor. Está dada por:

$$G/T_s = \frac{\text{Ganancia de la antena (Recep.)}}{\text{Ruido de antena + Ruido alimentador + Ruido del receptor}}$$

Los valores equivalentes de todos estos parámetros están referidos a la entrada del receptor.

El ruido del sistema de recepción T_s está dado por:

$$T_s = \frac{T_a}{T_o} + \frac{T_o (L_f - 1)}{L_f} + T_{LNA} + T_{XMIT} + T_{VSWR} + T_{DWC}$$

Donde:

T_a = Es la temperatura de ruido efectiva de la antena

T_o = Es la temperatura ambiente en $^{\circ}K$ (i.e $20^{\circ}C + 270^{\circ}K = 290^{\circ}K$)

T_{LNA} = Es el factor de ruido del receptor.

L_f = Es la pérdida del feeder/filtro/circulador, etc.

T_{XMIT} = Temperatura de ruido por acoplamiento del transmisor ($1^{\circ}K$)

T_{VSWR} = Temperatura de ruido por desadaptación de impedancia del LNA $< 6^{\circ}K$

T_{DWC} = Temperatura del Dow-Converter

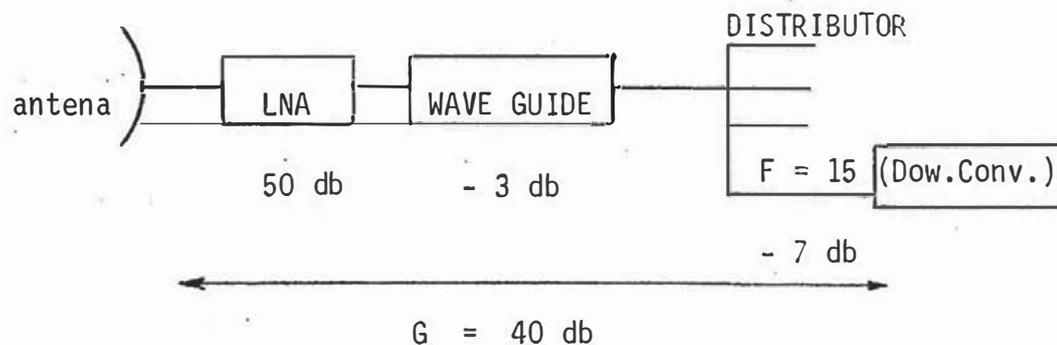
La contribución T_{DWC} del dow-converter es:

$$T_{DWC} = \left[(F_d - 1) / G \right] T_a$$

Donde:

F_d = Figura de ruido del Converter

G = Ganancia efectiva



$$T_{DWC} = 0.7^{\circ}K \text{ para } G = 40 \text{ db y } F = 15$$

$$T_{DWC} = 8.9^{\circ}K \text{ para } G = 30 \text{ db y } F = 15$$

4.2 Definiciones del Transpondedor IS-VB Modificado .-

Type of Beam: Global Up/Spot Down (6/4 GHz) (1). (7)
 Size of Allotment: 36 MHz^a

TRANSPONDER RESOURCES OFFERED FOR LEASE (2) (Single or Multicarrier Operation)

Parameter	VA(F10-F12) VB(F13-F15)	Units	Notes
Available Bandwidth	36.0	MHz	(3)
Saturation Flux Density			
High Gain	-77.6	dBW/m ² ± 2 dB	(4)
Low Gain	-70.1	dBW/m ² ± 2 dB	(4)
e.i.r.p. Available from the Satellite	32.5	dBW	(5)
Receiving System Sensitivity	-16.0	dB/K	(6)

- (1) Due to the nature of the global beam frequency reuse operation on INTELSAT VA (and all follow on series), it will be necessary that frequency plans be submitted to INTELSAT for approval. An integral part of the lease transmission and frequency plan must be the ability to vary carrier power and center frequency whenever the co-frequency transponder carrier assignments require it.
- (2) During lease operation, the earth stations within but not at the edge of the global beam in the uplink and/or spot beam in the downlink will benefit from the following satellite antenna pattern advantages:
- 1) Uplink pattern advantage depends on the earth station elevation angle and can be calculated as follows:

add: $0.04 (\alpha - 10)$ dB, α greater than 10°
 where: α = earth station operating elevation angle.

The flux and receiving system sensitivity values may be corrected by the amount of uplink antenna pattern advantage.
 - 1) Downlink pattern advantage depends on the location of the earth station within the spot beam. Leases should contact INTELSAT for this information. The e.i.r.p. value may be corrected by the amount of downlink antenna pattern advantage.
- (3) If the 36 MHz bandwidth is assigned in a 72 MHz transponder which provides equivalent resource, a minimum guardband at each edge of the 36 MHz bandwidth shall be made available which is equal to 5 percent of the bandwidth of the carrier adjacent to that band edge. This guardband shall be included within the 36 MHz. In the case where the 36 MHz lease falls at either end of a transponder, the guardband is only required for the edge of the 36 MHz lease which is adjacent to the remainder of the transponder.
- (4) This parameter is defined as the illuminating flux density which will be provided within the global beam contour with the output TWT saturated with a single carrier.
- (5) This parameter is defined as the minimum equivalent isotropically radiated power (e.i.r.p.) from the satellite which will provide within the spot beam contour with the output TWT saturated with a single carrier.
- (6) This parameter is defined as the minimum satellite receiving system sensitivity which will be provided within the global beam contour.
- (7) This lease definition assumes that the INTELSAT VA or VB is configured so that both A polarization and B polarization spot beams are in use. However, spacecraft configurations which use one polarization as a spot beam and the other as a global beam can be used when INTELSAT can arrange for the utilization of the global beam transponders with a minimum amount of co-frequency interference.

^aThis definition does not apply to transponder (7-8).

4.3 Parámetros principales de la Estación Terrena Estandart Z .-

- Límite del EIRP fuera del haz principal en la dirección de un satélite adyacente.

$$D = 42 - 25 \log \theta; \quad 2.5^\circ < \theta \leq 48^\circ$$

$$D = 0.0 \quad ; \quad \theta > 48^\circ$$

Donde:

D = Densidad de EIRP (dbw) en cualquier banda de 40 KHz

θ = Angulo entre el haz principal y la dirección considerada

- Productos de intermodulación

La densidad de EIRP resultante de la acumulación de los productos de intermodulación transmitidos desde la estación terrena no excederá los niveles mostrados en la siguiente tabla:

Límites de la densidad de EIRP de los productos de intermodulación (6 GHz).

Uplink Xponder Impacted by Intermod Products	Limit at 10° Elevation (dBW/4 kHz)		Correction Factor for other Elevation Angles (dB)
	IV, IVA	V, VA, VB, VI	
Hemispheric & Zone	23.0	21.0	-0.02(α -10) - β
Global	26.0	24.0	-0.06(α -10)

Este requisito se aplica a la anchura de banda no incluida en la banda de frecuencia que utiliza el usuario de la estación terrena normalizada tipo Z para fines de servicio. El nivel de intermodulación de la E.T. que sea aceptable dentro de la anchura de banda del usuario, será determinado por éste.

4.4 Asunciones de los Parámetros de transmisión.-

a) Segmento Espacial

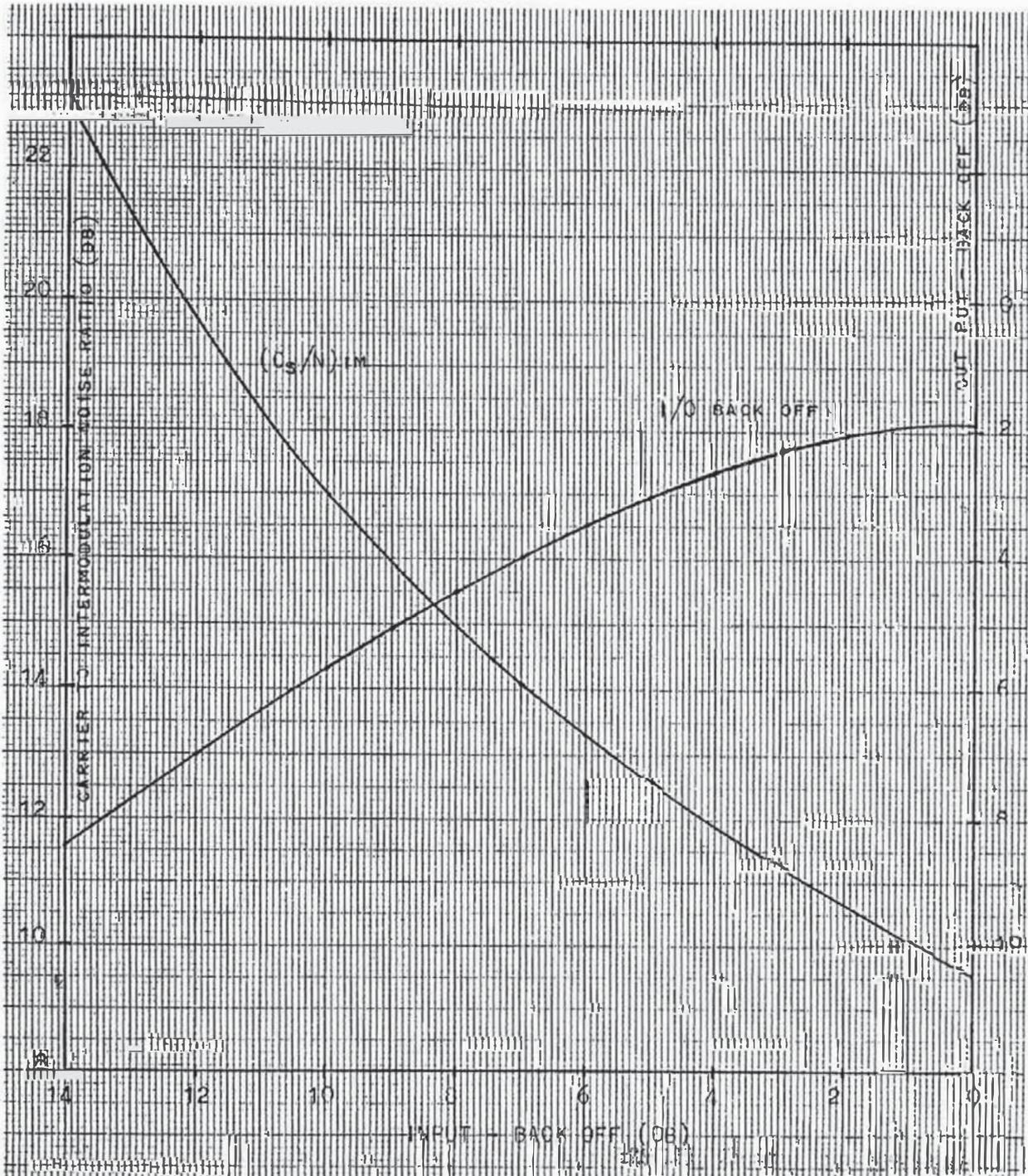
- Tipo Haz: Global ascendente/Haz pincel descendente
- Ancho de Banda: 36 MHz
- Frecuencia: 6/4 GH
- Flujo de saturación: Alta ganancia - $77.6 \text{ dbw/m}^2 \pm 2 \text{ db}$
Baja ganancia - $70.1 \text{ dbw/m}^2 \pm 2 \text{ db}$ (**)
- G/T del satélite: - 16 db/°K
- Pire de saturación: 32.5 dbw
- Características del TWTA - Fig. - 35.

(*) Los valores de las características del transpondedor adoptados están definidos al borde de la cobertura, a fin de garantizar su capacidad.

(**) Es importante notar que estos transpondedores solamente pueden ser accesados a través de un enlace global de subida, con una sensibilidad del sistema de recepción igual a -16 db/°K. Con un G/T así de bajo, las contribuciones de ruido del enlace de subida puede ser un problema importante como se verá. En algunos casos este problema puede ser afrontado solamente usando el estado de baja ganancia del receptor del satélite, proveyendo una densidad de flujo de -70.1 dbw/m^2 . El estado de baja ganancia implica requerimientos excesivos de dimensionamiento de las estaciones terrenas para el enlace de subida.

En los siguientes cálculos se usa el estado de alta ganancia, excepto cuando el estado de baja ganancia proporciona una performance mejorada para el sistema.

FIGURA - 35 .- SATELLITE TRANSPONDER TYPICAL TRANSFER MULTICARRIER CHARACTERISTICS AND TYPICAL CARRIER TO INTERMODULATION NOISE RATIO/.



b) Segmento Terrestre .-

G/T ESTACION TERRENA TIPICA

Diámetro de antena (m)		4.5	6.0	7.5	11	13
Ganancia de Antena típica (db)	Tx (6 GHz)	47.1	49.7	51.6	55.2	56.7
	Rx (4 GHz)	43.7	46.4	48.6	52.1	53.6
Temperatura de ruido ABR de FET (°K)	120 K	21.9	24.6	26.8	30.3	31.8
	100 K	22.5	25.2	27.5	30.9	32.4
	80 K	23.3	25.9	28.2	31.6	33.1
	55 K	24.3	27.0	29.2	32.7	34.2

c) Ruido.-

c.1 Ruido de Intermodulación (C/IM₀)

La relación (C/IM₀) se puede expresar como sigue:

$$(C/IM_0) = EIRP_d - IM$$

$$IM = EIRP_{SS} - B0_0 - C_s/IM$$

Donde:

IM - Densidad de ruido de intermodulación en el Satélite

(C_s/IM) - Relación de la portadora (transpondedor saturado) al ruido de intermodulación por Hz en un punto de operación de la portadora de interés (dB)

EIRP_d - EIRP del Satélite para una portadora de interés

EIRP_{SS} - EIRP máximo de un transpondedor.

B - Ancho de banda del transpondedor.

c.2 Ruido de Interferencia

Se asume:

Interferencia co-canal (Reuso de frecuencia)

UP: 27 dB } Sobre la base del aislamiento
 DOWN : 27 dB } especificado

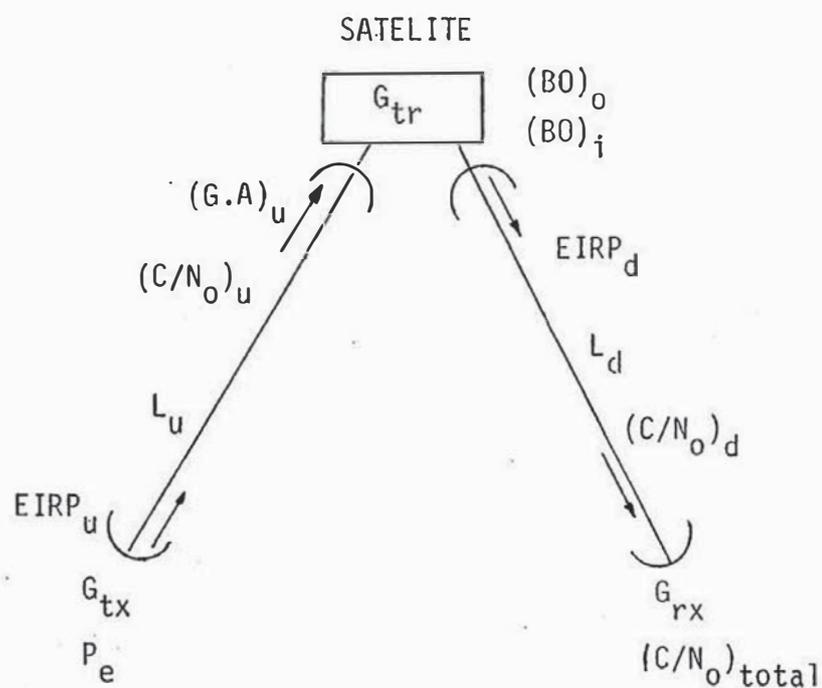
Interferencia - sat. adyacente

UP: -

DOWN: 10% del ruido térmico de bajada

$$(C/I_o)_d = (C/N_o)_d + 10 \log (10)$$

4.5 Cálculos del Presupuesto de enlace



$(G.A)_u$: Ganancia de una antena standart de 1 m^2 de área a 6 GHz.

4.5.1 Pérdida de Espacio Libre (L).

$$L = 32.44 + 20(\log d + \log f) \quad d: \text{Km} \quad f: \text{MHz.}$$

$$d = 42164 \left[\sqrt{1 - 43.7033 \cos^2 \theta} - 6.61085 \sin \theta \right]$$

θ Es el ángulo de elevación para una estación terrena respecto al satélite.

Para el satélite IS-VB estacionado en 307°E y $\theta = 60^\circ$

$$d = 36468.32 \text{ Kms.}$$

$$\text{Luego: } L_d = 195.7 \text{ db. (3950 MHz.)}$$

$$L_u = 199.6 \text{ db (6125 MHz)}$$

4.5.2 Estimación del EIRP de bajada

Se asume:

$$\text{Back-off de salida, } BO_o = 4.5 \text{ db.}$$

$$\text{Back-off de entrada, } BO_i = 8 \text{ db.}$$

de acuerdo a los requerimientos de operación con portadoras múltiples. Para este punto de operación se tiene:

$$IM = -62.5 \text{ dbw/Hz.}$$

Con estos valores y asumiendo inicialmente que:

$(C/N_o)_d \approx (C/N_o + I_o)_t = 56.8 \text{ db-Hz.}$, se obtiene un valor aproximado de $EIRP_d$:

Luego, este valor se corrige sucesivamente hasta obtener el valor apropiado mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$(C/N_o)_d = EIRP_d - L_d + G/T_e + 228.6 \text{ db-Hz}$$

$$G \text{ Txp} = (EIRP_{SS} - BO_o) - (SFD - BO_i) + 37.3$$

$$(C/N_o + I_o)_d^{-1} = (C/N_o + I_o)_t^{-1} - (C/IM_o)^{-1} - (C/N_o + I_o)_u^{-1}$$

$$EIRP_u = EIRP_d - G \text{ Txp} + L_u$$

Emisiones fuera del Haz:

Ø Antena : 6 mts.

Configuración : Malla

Las emisiones fuera del haz están determinadas por las características de la antena y el EIRP del haz principal.

Especificaciones de la antena:

$$G = 32 - 24 \log \theta \text{ dbi } (1^\circ < \theta \leq 48^\circ)$$

$$G = -10 \text{ dbi } (\theta > 48^\circ)$$

EIRP requerido: 7.5 dbw.

Requerimiento de la Estación: $42 - 25 \log \theta$ dbw/40 KHz

Para una portadora espaciada en 22.5 KH la potencia en una banda de 40 KH es aproximadamente de 1.5 x la potencia de la portadora; 1.8 db adicional: entonces la emisión fuera del haz es al menos de: $41.3 - 25 \log \theta$ dbw/40KHz.

4.6 Cálculo de la capacidad estimada .-

Los cuadros siguientes contienen las cifras estimadas de capacidad del transpondedor para los dos tipos de configuración de la red.

CUADRO - 7

INTELSAT VB - SCPC CAPACITY
NORTH - SPOT BEAM 36 MHz. TRANSPONDER
LINK BUDGET (CLEAR SKY)

Occupied Carrier Bandwidth (KHz.)		19.00		
Number of Carriers per Transponder		455		275
Network Configuration		STAR		MESH
Connectivity		UR TO UM	UM TO UR	UR TO UR
<u>UP LINK</u>				
HPA Power Level (DBW)	5.9		3.1	12.7
Earth Station Pointing Error (DB)	0.00		0.00	
Up Path Loss (clear sky) (DB)		199.6		
Saturation Flux Density (L.G.) (DBW/m ²)		-70.1		
Input Back-Off (DB)		8.0		
Satellite G/T (DB/K)		-16.0		
C/N Thermal Noise (DB)	23.21		30.0	30.0
C/I Co-Channel Interference (DB)		27.0		
C/I Adj. Satellite Interf. (DB)		---		
C (N+I) Up-Link (DB)	21.75		25.37	25.37
C/IM Intermodulation (DB)	16.5		23.3	23.3
Transponder Gain (DB)		143.4		
<u>DOWN-LINK</u>				
Satellite EIRP per Channel (DBW)	-3.2		3.6	3.6
Satellite Saturation EIRP (DBW)		32.5		
Output Back-Off (DB)		4.5		
Down Path Loss (Clear sky) (DB)		195.7		
Earth Station Pointing Error (DB)	0.00		0.00	
Earth Station G/T (Clear sky) (DB/K)	34.20		21.90	
C/N Thermal Noise (DB)	21.1		15.61	15.61
C/I Co Channel Interference (DB)		27.0		
C/I Adj. Satellite Interf. (DB)	31.1		25.6	25.6
C/(N+I)- Down Link (DB)	19.82		14.93	14.93
Total C/(N + I) (DB)		14.0		
Total C/(N + I) ₀ (DB-Hz)		56.8		
Thershold C/N ₀ (DB-Hz)		49.3		
Available Margin (DB)		7.5		

CUADRO - 8

INTELSAT VB - SCPC CAPACITY
NORTH - SPOT BEAM 36 MHZ. TRANSPONDER
LINK BUDGET (CLEAR SKY)

Occupied Carrier Bandwidth (KHz)	19.00			
	726		501	
Number of Carriers per Transponder	STAR		MESH	
Network Configuration				
Connectivity	UR TO UM	UM TO UR	UR TO UR	
<u>UP LINK</u>				
HPA Power Level (DBW)	3.3	0.5	7.5	
Earth Station Pointing Error (DB)	0.00	0.00		
Up Path Loss (clear sky) (DB)	199.6			
Saturation Flux Density (L.G) (DBW/m ²)	-70.1			
Input Back-Off (DB)	8.0			
Satellite G/T (DB/K)	-16.0			
C/N Termal Noise (DB)	23.21	27.4	27.4	
C/I Co-Channel Interference (DB)	27.0			
C/I Adj. Satellite Interf. (DB)	---			
C/(N+I) Up Link (DB)	21.75	24.3	24.3	
C/IM Intermodulation (DB)	16.5	20.7	20.7	
Transponder Gain (DB)	143.4			
<u>DOWN LINK</u>				
Satellite EIRP per Channel (DBW)	-3.2	1.0	1.0	
Satellite Saturation EIRP (DBW)	32.5			
Out put Back-Off (DB)	4.5			
Down Path Loss (Clear sky) (DB)	195.7			
Earth Station Pointing Error (DB)	0.00	0.00		
Earth Station G/T (Clear Sky) (DB/K)	34.20	25.20		
C/N Termal Noise (DB)	21.1	16.3	16.3	
C/I Co-Channel Interference (DB)	27.0			
C/I Adj. Satellite Interf. (DB)	31.1	26.3	26.3	
C/(N+I) Down Link (DB)	19.82	15.58	15.58	
Total C/(N+I) (DB)	14.0			
Total C/(N+I) ₀ (DB-Hz)	56.8			
Thershold C/N ₀ (DB-Hz)	49.3			
Available Margin (DB)	7.5			

CUADRO - 9

INTELSAT VB - SCPC CAPACITY
 NORTH - SPOT BEAM 36 MHZ. TRANSPONDER
 LINK BUDGET (CLEAR SKY)

Occupied Carrier Bandwidth (KHz)	19.00		794	
	991		MESH	
Number of Carriers Per Transponder	STAR		MESH	
Network configuration	UR TO UM	UM TO UR	UR TO UR	UR TO UR
Connectivity	UR TO UM	UM TO UR	UR TO UR	UR TO UR
<u>UP LINK</u>				
HPA Power Level (DBW)	1.4	-1.5	3.6	
Earth Station Pointing Error (DB)	0.00	0.00		
Up Path Loss (clear sky) (DB)	199.6			
Saturation Flux Density (L.G) (DBW/m ²)	-70.1			
Input Back-Off (DB)	8.0			
Satellite G/T (DB/K)	-16.0			
C/N Thermal Noise (DB)	23.21	25.4	25.4	
C/I Co-Channel Interference (DB)	27.0			
C/I Adj. Satellite Interf. (DB)	---			
C/(N+I) Up-Link	21.75	23.21	23.21	
C/IM Intermodulation (DB)	16.5	18.7	18.7	
Transponder Gain (DB)	143.4			
<u>DOWN LINK</u>				
Satellite EIRP per Channel (DBW)	-3.2	-1.0	-1.0	
Satellite Saturation EIRP (DBW)	32.5			
Out put Back-Off (DB)	4.5			
Down Path Loss (clear sky) (DB)	195.5			
Earth Station Pointing Error (DB)	0.00	0.00		
Earth Station G/T (Clear sky) (DB/K)	34.20	28.20		
C/N Thermal Noise (DB)	21.1	17.3	17.3	
C/I Co-Channel Interference (DB)	27.0			
C/I Adj. Satellite Interf. (DB)	31.1	27.3	27.3	
C/(N+I) Down Link (DB)	19.82	16.51	16.51	
Total C/(N+I) (DB)	14.0			
Total C/(N+I) ₀ (DB-Hz)	56.8			
Thershold C/N ₀ (DB-Hz)	49.3			
Available Margin (DB)	7.5			

CUADRO -- 10

INTELSAT VB - SCPC CAPACITY
 NORTH - SPOT BEAM 36 MHZ. TRANSPONDER
 LINK BUDGET (CLEAR SKY)

Occupied Carrier Bandwidth (KHz)		19.00		
Number Of Carriers per Transponder		1257		1202
Network Configuration		STAR		MESH
Connectivity		UR TO UM	UM TO UR	UR TO UR
<u>UP LINK</u>				
HPA Power Level	(DBW)	-2.2	-3.3	-1.8
Earth Station Pointing Error	(DB)	0.00	0.00	
Up Path Loss (Clear sky)	(DB)		199.6	
Saturation Flux Density (L.G)	(DBW/m ²)		-70.1	
Input Back-Off	(DB)		8.0	
Satellite G/T	(DB/K)		-16.0	
C/N Termal Noise	(DB)	23.4	23.6	23.6
C/I Co-Channel Interference	(DB)		27.0	
C/I Adj. Satellite Interf.	(DB)		----	
C/(N+I) Up Link	(DB)	21.75	22.0	22.0
C/IM Intermodulation	(DB)	16.5	16.91	16.91
Transponder Gain	(DB)		143.4	
<u>DOWN LINK</u>				
Satellite EIRP per Channel	(DBW)	-3.2	-2.8	-2.8
Satellite Saturation EIRP	(DBW)		32.5	
Out put Back-Off	(DB)		4.5	
Down Path Loss (clear sky)	(DB)		195.7	
Earth Station Pointing Error	(DB)	0.00	0.00	
Earth Station G/T (Clear Sky)	(DB/K)	34.20	32.70	
C/N Termal Noise	(DB)	21.1	20	20
C/I Co-Channel Interference	(DB)		27.0	
C/I Adj. Satellite Interf.	(DB)	31.1	30	30
C/(N+I) Down Link	(DB)	19.82	18.92	18.92
Total C/(N+I)	(DB)		14.0	
Total C/(N+I) ₀	(DB-Hz)		56.8	
Thershold C/N ₀	(DB-Hz)		49.3	
Available Margin	(DB)		7.5	

CUADRO - 11

INTELSAT VB - SCPC CAPACITY
 NORTH - SPOT BEAM 36 MHz. TRANSPONDER
 LINK BUGDET (CLEAR SKY)

Occupied Carrier Bandwidth	(KHz)	19.00		
Number of Carriers per Transponder		1318		1318
Network Configuration		STAR		MESH
Connectivity		UR TO UM	UM TO UR	UR TO UR
<u>UP LINK</u>				
HPA Power Level	(DBW)	-3.7	-3.7	-3.7
Earth Station Pointing Error	(DB)	0.00	0.00	
Up Path Loss (clear sky)	(DB)		199.6	
Saturation Flux Density (L.G.)	(DBW/m ²)		-70.1	
Input Back Off	(DB)		8.0	
Satellite G/T	(DB/K)		-16.0	
C/N Termal Noise	(DB)	23.21	23.21	23.21
C/I Co-Channel Interference	(DB)		27.0	
C/I Adj. Satellite Interf.	(DB)		---	
C/(N+I) Up-Link	(DB)	21.75	21.75	21.75
C/IM Intermodulation	(DB)	16.5	16.5	16.5
Transponder Gain	(DB)		143.4	
<u>DOWN LINK</u>				
Satellite EIRP per Channel	(DBW)	-3.2	-3.2	-3.2
Satellite Saturation EIRP	(DBW)		32.5	
Out put Back Off	(DB)		4.5	
Down Path Loss (clear sky)	(DB)		195.7	
Earth Station Pointing Error	(DB)	0.00	0.00	
Earth Station G/T (Clear sky)	(DB/K)	34.20	34.20	
C/N Termal Noise	(DB)	21.1	21.1	21.1
C/I Co-Channel Interference	(DB)		27.0	
C/I Adj. Satellite Interf.	(DB)	31.1	31.1	31.1
C/(N+I) Down Link	(DB)	19.82	19.82	19.82
Total C/(N+I)	(DB)		14.0	
Total C/(N+I) ₀	(DB-Hz)		56.8	
Thershold C/N ₀	(DB-Hz)		49.3	
Available Margin	(DB)		7.5	

NOTA: Para SCPC cuando el C/No (Viz.potencia) es un factor limitante, el VOX puede aumentar la capacidad del transpondedor en 2.5 veces (4 db), asumiendo un factor de actividad de portadora del 40%.

5. CONSIDERACIONES DE APLICACION DEL SISTEMA D.A.M.A. EN TELEFONIA RURAL.

5.1 Introducción.-

En general cuando la mayoría de los usuarios de un sistema de comunicaciones no están en constante comunicación, es muy ventajoso asignar dinámicamente los diferentes canales de acuerdo a los requerimientos de tráfico impuestos al sistema.

En los últimos años se ha desarrollado una gran variedad de esquemas de multiacceso que pueden ser clasificados de acuerdo a la técnica con la cual los canales son asignados; así tenemos: (Por encuesta, preasignación y asignación por demanda).

La asignación más simple consiste en asignar los canales a priori, en forma fija o programada. El esquema de preasignación fija es indicado para tráfico alto, sin embargo si todos los canales son preasignados la capacidad del satélite se copara rápidamente; por esto a fin de compartir la utilización de los canales con menos de 100% de ciclo de trabajo, la preasignación debe ser programada antes que fija.

En un esquema de acceso múltiple de asignación por demanda los canales son asignados por demanda; la asignación puede ser a petición o random. En un esquema de asignación a petición es necesario una unidad de control central, en cambio en el esquema

random no es necesario esta unidad ya que cualquier usuario puede intentar usar los mismos canales prescindiendo del estado de la red; este procedimiento simplifica algunas veces el sistema pero generalmente ocurren colisiones e interferencias que resultan en una reducción drástica de la capacidad total.

Finalmente para satisfacer una variedad de servicios y tráficos frecuentemente se combinan los esquemas de multiacceso preasignado y por demanda. Es interesante notar que contrariamente al esquema de preasignación en la asignación por demanda los canales entre un par de estaciones no son permanentes, consecuentemente los canales asignados por demanda tienen capacidad de cursar más tráfico que los canales preasignados y así puede servir a un número mayor de circuitos.

Esta ventaja de la asignación por demanda está garantizada solamente para tráfico bajo o medio con muchos destinos.

5.2 Análisis de la Eficiencia de los Circuitos preasignados y asignados por demanda .- (ver cuadro - 12)

5.2.1 Circuitos preasignados en una red malla.-

i) Consideremos una red compuesta inicialmente de doce estaciones.

Características asumidas:

- . Número de estaciones, $n = 12$
- . Tráfico total promedio, $t_t = 60 \text{ Erl}$.
- . Asumimos distribución uniforme de tráfico.

El tráfico promedio por estación, t_e es:

$$t_e = 2 \cdot t_t / n = 2 \times 60 / 12 = 10 \text{ Erl}.$$

tráfico de estación por enlace t_{ee} es:

$$t_{ee} = t_e / (n-1) = 10/11 = 0.90 \text{ Erl.} < > 4 \text{ CH (p = 1\%)}$$

Número de circuitos requeridos en el satélite, C_s

$$C_s = 4 \times \text{número de enlaces} = \frac{4 \times 12 \times 11}{2} = 264 \text{ circ.}$$

eficiencia en el uso del satélite, e_s

$$e_s = 60 \text{ Erl} / 264 = 22.72\%$$

ii) Ampliación del Segmento terrestre a 30 estaciones terrenas (asumimos que se mantiene el modelo anterior y $t_t = 60 \text{ Erl}$).

$$t_e = 2 \times 60/30 = 4 \text{ Erl.}$$

$$t_{ee} = 4/29 = 0.137 \text{ Erl.} < > 2 \text{ Cir. (p = 1\%)}$$

$$C_s = 2 \times 30 \times 29/2 = 870 \text{ Circ.}$$

$$e_s = 60 \text{ Erl}/870 = 6.8\% \text{ (muy pobre)}$$

Esta demanda de canales no podrá ser cubierta por un transpondedor, asumiendo que su capacidad máxima sea de 800 circuitos (canales duplex).

5.2.2 Circuitos preasignados en una red estrella.-

La estructura de la red malla descrita puede ser abandonada en favor de una configuración estrella, donde una estación central a través de un conmutador en la red, selecciona la ruta de la estación de destino.

En el ejemplo elegido (ii), esto indica que:

$$t_e = t_t / (n-1) = 60/29 = 2.06 \text{ Erl} < > 7 \text{ Cir.}$$

$$C_s = 7 (n-1) = 7 \times 29 = 203 \text{ Circ.}$$

$$\text{Modems en la red} = 2 \times 7 \times 29 = 406 \text{ VCU}$$

En este caso se requiere doble salto para el enlace entre estaciones rurales lo cual es cuestionable por dos razones:

- i) El tiempo de propagación es bastante grande (aprox. 1/2 seg.)
- ii) Causa carga extra en el satélite.

Pero el tráfico entre estaciones rurales es posible y generalmente se encuentra un porcentaje muy bajo del tráfico total.

La eficiencia en este caso es considerablemente mejor comparada con la eficiencia ofrecida por la red malla.

$$e_s = 60 \text{ Erl.} / 203 \text{ Cir.} = 29.5\% \text{ (aún bajo)}$$

5.2.3 Circuitos asignados por demanda .-

Esto induce a una segunda forma de mejorar la utilización de las facilidades ofrecidas: D.A.M.A. En este sistema no hay circuitos fijos, la asignación de frecuencias para el establecimiento de un circuito se realiza cuando se presenta la demanda, y cuando ésta termina las frecuencias vuelven a estar dispuestas para otras conexiones.

- i) Si se emplea D.A.M.A. en la configuración Malla se tiene:

$$C_s = 75 \text{ Cir.} \langle \rangle 60 \text{ Erl.} \text{ (p=1\%)}$$

$$t_e = \frac{2 \times 60}{30} = 4 \text{ Erl.} \langle \rangle 10 \text{ Cir.}$$

$$\text{Modems en la red} = 10 \times 30 = 300 \text{ VCU}$$

$$e_s = 50 \text{ Erl} / 75 \text{ Cir.} = 80\%$$

- ii) D.A.M.A. en una red Estrella

$$c_s = 75 \text{ Circ.} \langle \rangle 60 \text{ Erl.}$$

$$t_e = 2.06 \text{ Erl} \langle \rangle 7 \text{ Cir.}$$

$$\text{Modems en la red} = 7 \text{ CH} \times 29 + 75 = 278 \text{ VCU}$$

$$e_s = 60 \text{ Erl} / 75 \text{ Cir.} = 80\%.$$

CUADRO - 12Eficiencia de Transmisión Troncal

<u>Canales por enlace</u>	<u>Grado de Servicio 1 en 20</u>	<u>Grado de Servicio 1 en 100</u>
1	5	1
2	19	7
3	20	15
4	38	22
6	49	32
8	57	39
10	62	45
15	71	54
20	76	60
30	83	68
50	89	76
100	95	84

5.3 Concentración en la asignación por demanda

Las ventajas de la concentración en la asignación por demanda se presenta en dos puntos en el sistema de satélite: La estación terrena y el transpondedor del satélite. Esto se debe al hecho de que el tráfico en la estación terrena puede ser tratado como si la estación terrena fuera una gran troncal, y la aglomeración de tráfico de todas las estaciones terrenas de la red en el segmento espacial puede ser tratado también como si el transpondedor del satélite fuese una gran troncal.

Concentración en la estación terrena .-

En una estación terrena, cuando se requiera establecer un enlace de comunicación, se puede compartir alternadamente la misma unidad de canal (D.A.) entre todos los enlaces. En esta forma el número de unidades de canal requerido será menor que en el sistema preasignado (P.A.).

El factor de concentración alcanzado depende del número de canales por enlace, el número de enlaces por estación terrena y el grado de servicio asignado a este elemento de concentración.

Concentración en el Segmento Espacial .-

Los canales del satélite pueden ser compartidos entre todas las estaciones terrenas desde un pool con asignación por demanda.

El grado de concentración alcanzado depende del número de canales por enlace, del número de circuitos del pool con asignación por demanda y el grado de servicio asignado a este elemento de concentración.

Para todos los casos, el factor de concentración puede ser determinado fácilmente usando la Tabla de Erlang. Como información general mostraremos el factor de concentración alcanzado para la asunción simplificada de igual número de canales por enlace e igual número de enlaces por estación terrena. Estos resultados se muestran en las Tablas - 13 y - 14. Se ha elegido el grado de servicio de 1 en 100 para cada una de las etapas de concentración.

CUADRO -- 13 .

Concentración en el Segmento Espacial con Asignación por Demanda

(Grado de Servicio = 1 en 100)

Canales por enlace	Enlaces en el Sistema	Canales en el Sistema	Factor de concentración
1	5	5	2.50
2		10	2.50
5		25	1.79
10		50	1.52
1	10	10	5.00
2		20	3.33
5		50	2.27
10		100	1.72
1	30	30	10.00
2		60	5.45
5		150	2.78
10		300	1.95
1	100	100	20.00
2		200	8.33
5		500	3.20
10		1060	2.12

CUADRO - 14

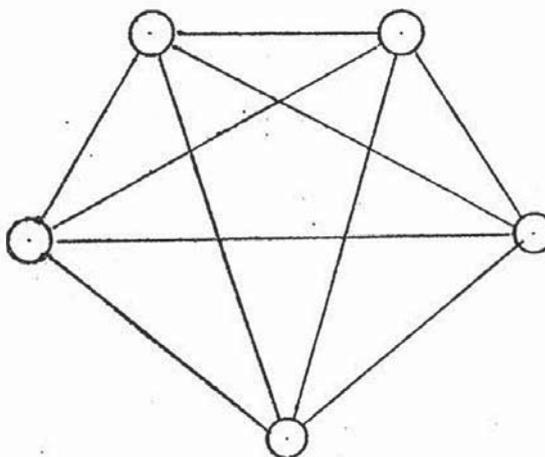
Concentración en la Estación Terrena con asignación por Demanda

(Grado de Servicio = 1 en 100)

<u>Canales por enlace</u>	<u>Enlaces por Est. Terrena</u>	<u>Canales por Est. Terrena</u>	<u>Factor de Concentración</u>
1	2	2	1.00
2		4	1.33
5		10	1.25
10		20	1.18
1	5	5	2.50
2		10	2.50
5		25	1.79
10		50	1.52
1	10	10	5.00
2		20	3.33
5		50	2.27
10		100	1.72

5.4 Cuadros de Comparación entre el Sistema D.A.M.A. y P.A.

Red Malla



Se asume:

Tráfico igualmente distribuido entre n estaciones

Tráfico por estación: t_e

Tráfico total en la red: $n \cdot t_e / 2$

Número de enlaces en la red: $\frac{n(n-1)}{2}$

<u>CONFIGURACION</u>	<u>P.A.</u>	<u>D.A.</u>
Circuitos requeridos en el satélite	$K \frac{n(n-1)}{2}$	q
Modems en la red	$K n \cdot (n-1)$	j.n

q, Número de canales requeridos para permitir un tráfico de $n \cdot t_e / 2$ con 1% de grado de servicio.

K, Número de canales requeridos para permitir un tráfico de $t_e / (n-1)$ al 1% de grado de servicio

j, número de circuitos requeridos para permitir un tráfico de t_e .

CUADRO - 15

Número Estacs (n)	TRAFICO (ERL.)		P. A.		D. A.	
	Por estac. (te)	Total t_t	Circuitos Satélite	Modems Red	Circuitos Satélite	Modems Red
10	0.1	0.5	45	90	4	20
10	0.2	1	45	90	5	30
20	0.1	1	190	380	5	40
20	0.2	2	190	380	7	60
30	0.1	1.5	435	870	6	60
30	0.2	3	435	870	8	90

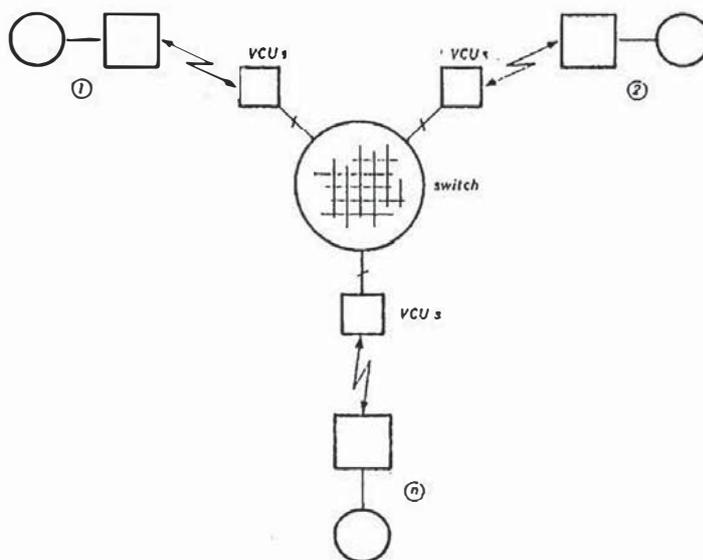
Red Estrella

Se asume:

Tráfico igualmente distribuido entre n estaciones

Tráfico por estación, t_e

Tráfico total en la red, $t_t = t_e (n-1)$. Erl.



CONFIGURACION

P. A.

D. A.

Circuitos requeridos
en el satélite

$j.n$

q

Modems en la red

$2 j.n$

$j.n + q$

q, j ; la misma definición anterior.

CUADRO -- 16

Número Estacs.	TRAFICO (ERL.)		P. A.		D. A.	
	Por estac: (t_e)	Total t_t	Circuitos Satélite	Modems Red	Circuitos Satélite	Modems Red
10	0.1	1	20	20 + 20	5	20 + 5
10	0.2	2	30	30 + 30	7	20 + 7
20	0.1	2	40	40 + 40	7	40 + 7
20	0.2	4	60	60 + 60	10	40 + 10
30	0.1	4	60	60 + 60	8	60 + 8
30	0.2	6	90	90 + 90	12	90 + 12

5.5 Tipo de D.A.M.A.

La asignación de frecuencias por demanda referido anteriormente es la característica esencial del D.A.M.A. La asignación puede ser efectuada en dos formas:

D.A.M.A. Descentralizado.-

En este sistema cada estación puede tomar prestado, en forma autónoma las frecuencias de un pool y luego al ser liberadas devolverlas al pool. A fin de prevenir que dos estaciones tomen la misma frecuencia, éstas se comunican entre sí mediante un canal especial de datos, estableciendo un protocolo Ad-hoc. Uno de los más conocidos sistemas descentralizados es el sistema SPADE (PCM-SCPC) para conexiones internacionales de comunicación usado por el Consorcio INTELSAT.

D.A.M.A. Centralizado.-

En directo contraste al sistema de control descentralizado, en el sistema centralizado el manejo del pool está restringido a una estación generalmente conocido como estación master o estación principal. Todas las estaciones remotas se comunican con la estación master a través de un canal especial de datos.

Las figuras siguientes muestran la configuración de estas estaciones con D.A.M.A.

Evaluación.-

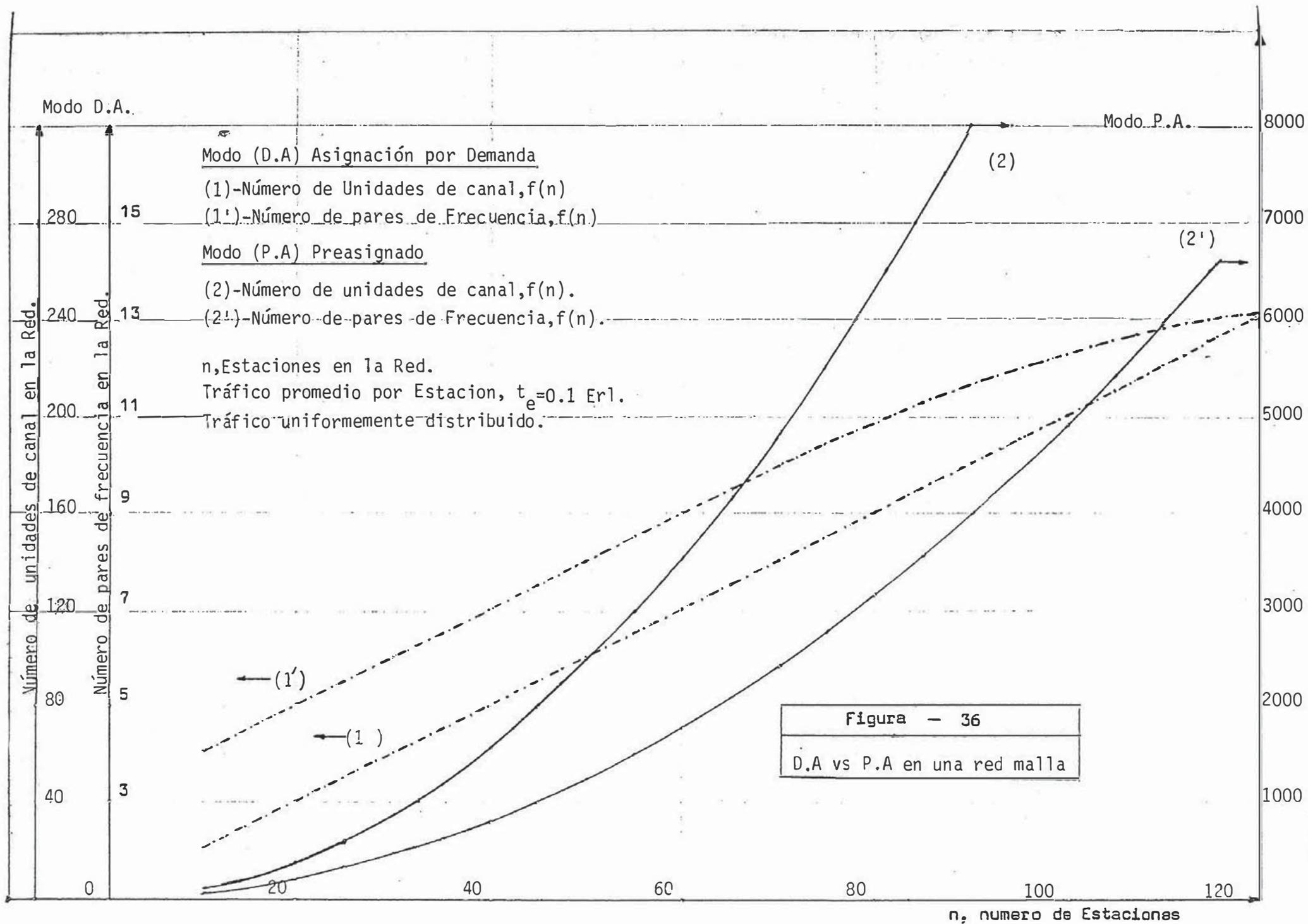
El acceso múltiple asignado por la demanda (DAMA) es aceptado

actualmente como la técnica de acceso óptima para redes de tráfico de ruta fina.

Cada uno de los sistemas referidos tiene puntos a favor y en contra, los principales pueden ser resumidos como sigue:

- a) En el sistema descentralizado todas las estaciones tienen el mismo grado, al menos en principio. Especialmente en aplicaciones internacionales este es un punto claro a su favor.
- b) El sistema centralizado es más vulnerable por que si cae la estación maestra no se puede establecer ninguna comunicación.
- c) El sistema centralizado requiere equipos menos sofisticados en las estaciones remotas porque las funciones tal como el análisis del número, se realiza en la estación master; como un resultado la estación remota es más económica, punto que se pondera bastante en aplicaciones rurales.
- d) El sistema centralizado acepta fácilmente cambios en el plan de numeración tal como puede suceder por la adición de una estación. En el sistema descentralizado este cambio puede requerir un arreglo del software de cada estación. Esto es particularmente molesto en aplicaciones rurales.

En concordancia nuestro estudio destaca que los D.A.M.A. centralizados son mejor adaptados para nuestras necesidades.



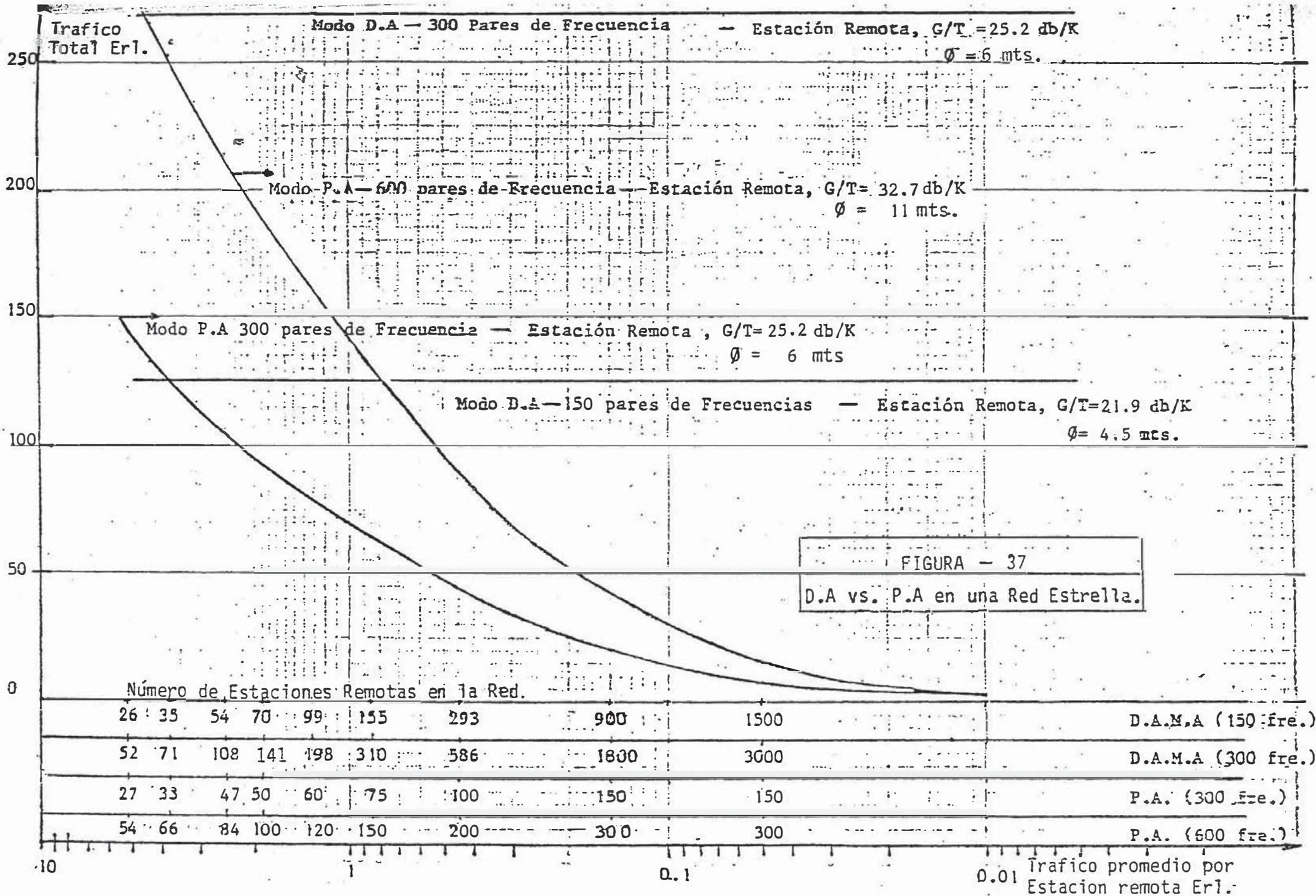
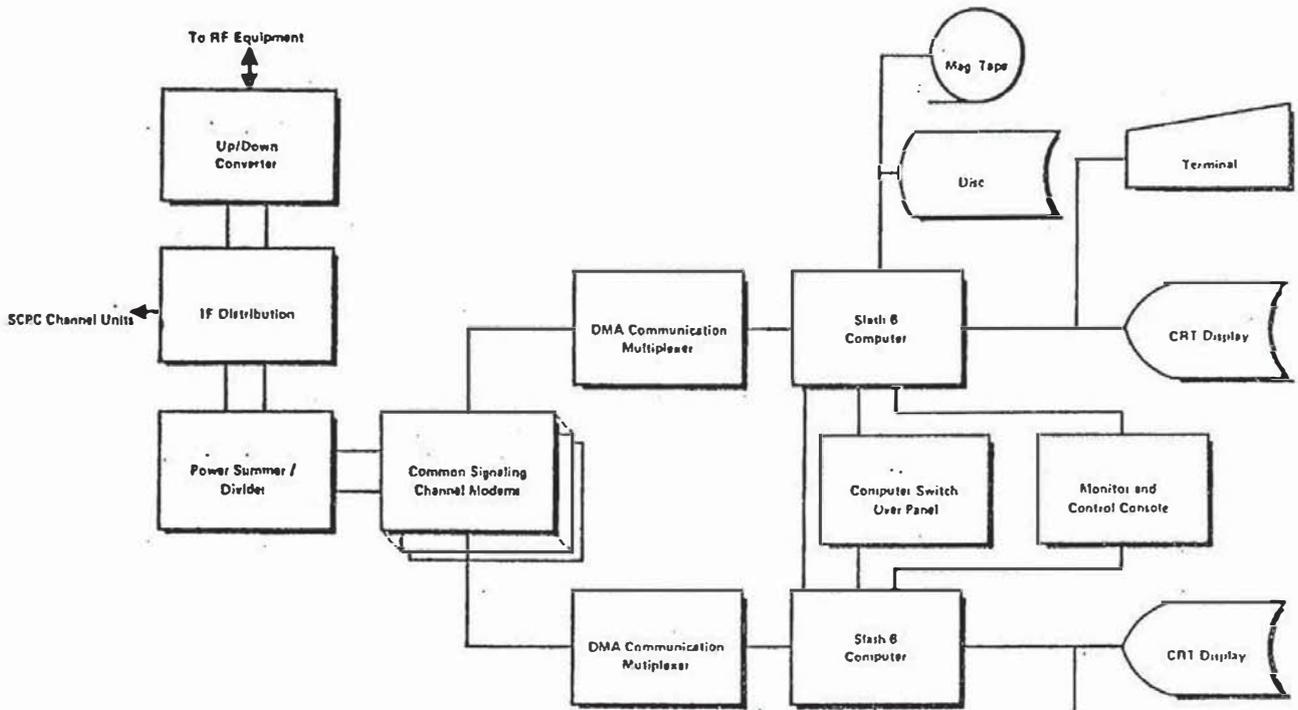
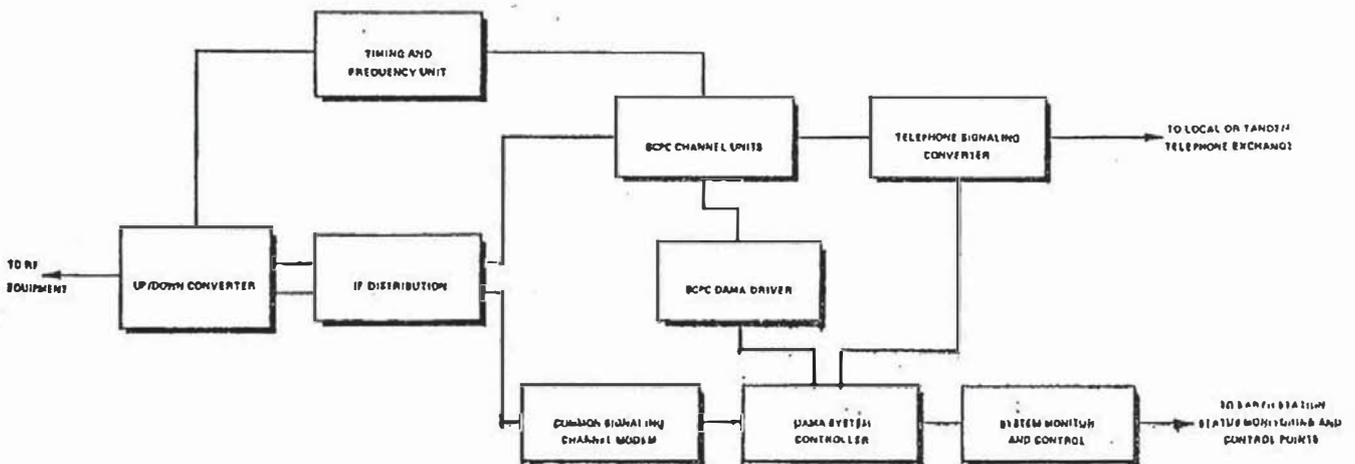


FIGURA - 38 Diagrama esquemático del equipamiento D.A.M.A.

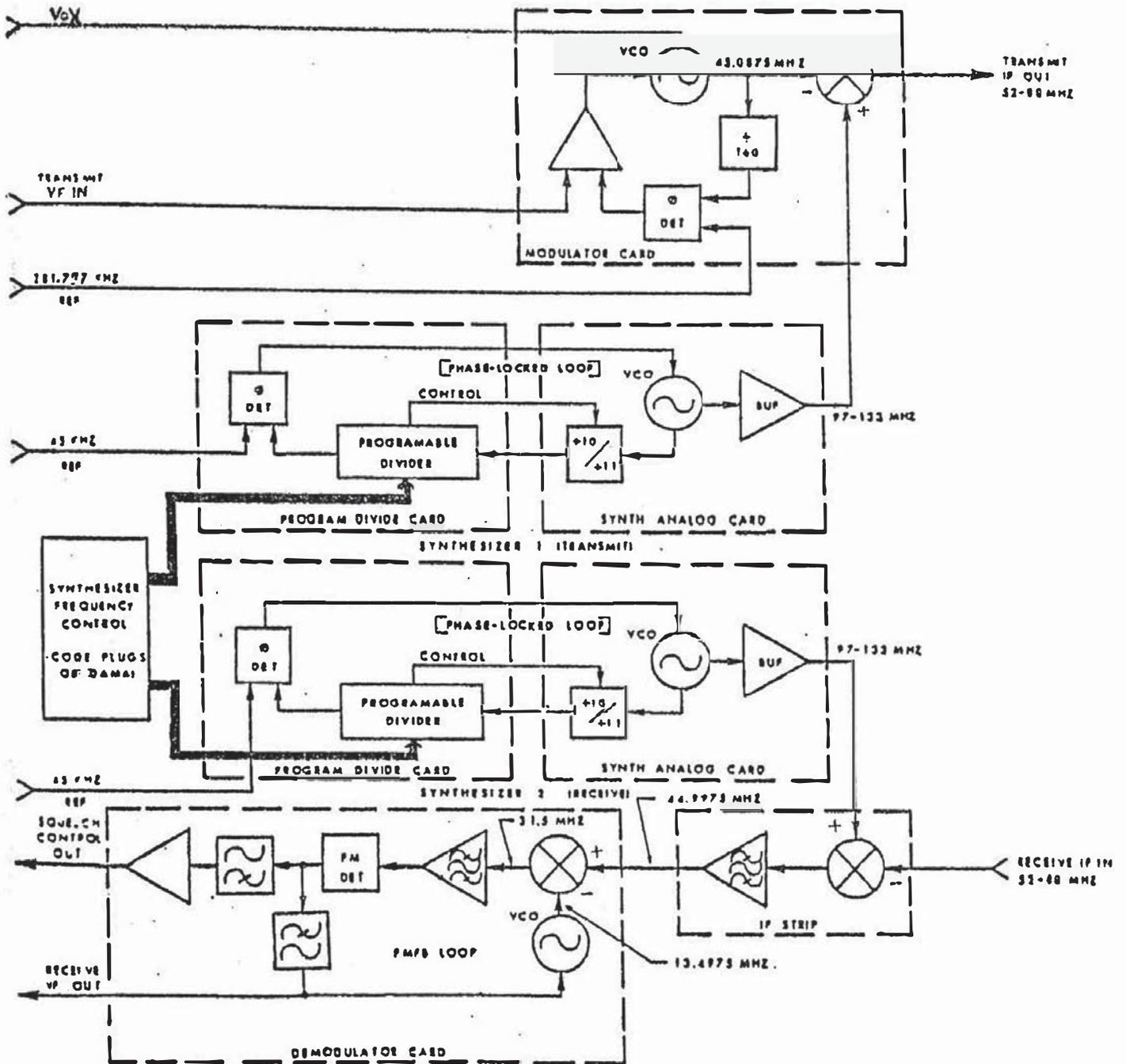


a)- Equipo DAMA en la estación Master.



b)-Equipo DAMA en la estación Remota.

Figura - 39 Diagrama de bloques del Modem/Synthesizer.



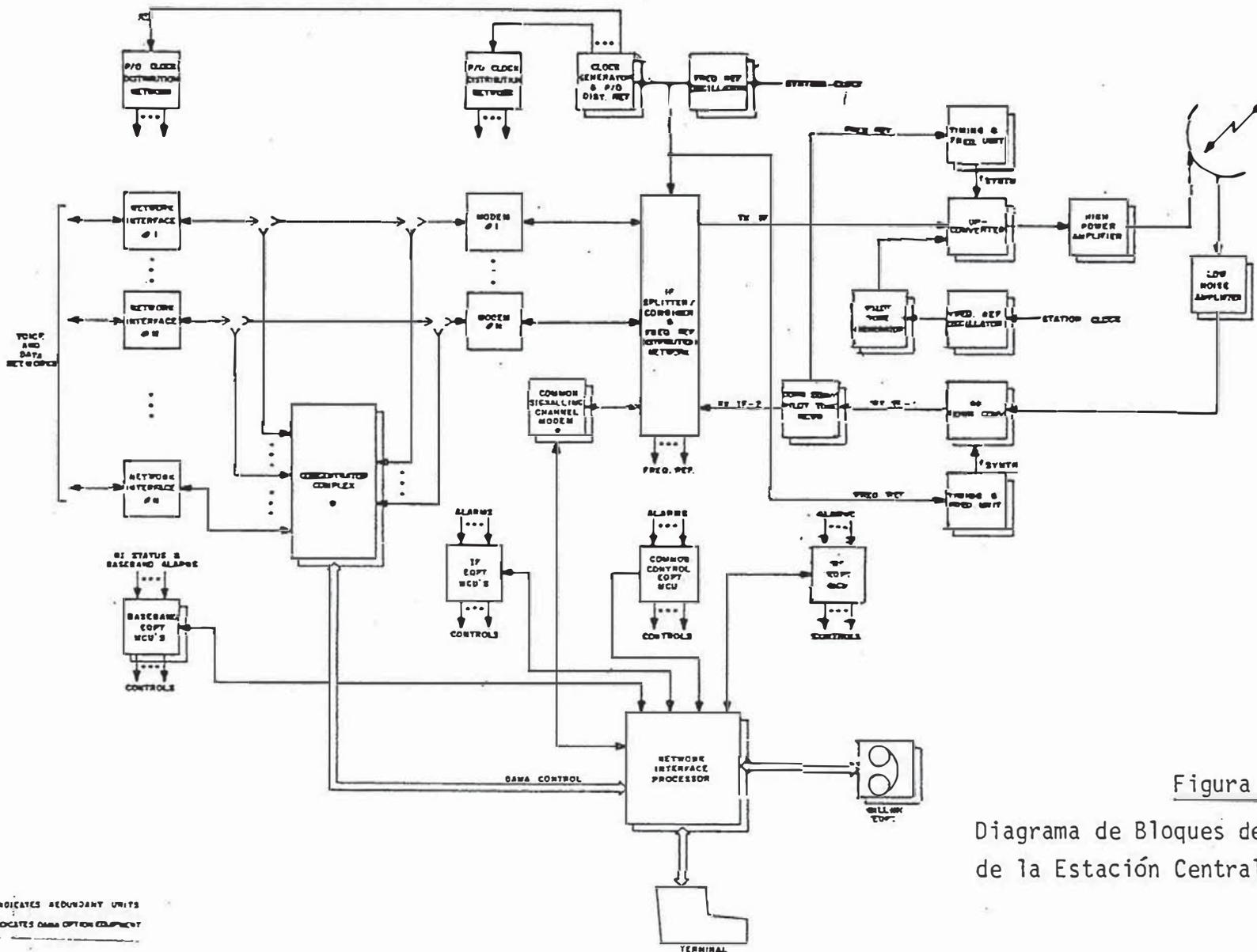


Figura - 40

Diagrama de Bloques del equipamiento de la Estación Central.

NOTE:
 [Symbol] INDICATES REDUNDANT UNITS
 [Symbol] INDICATES DATA OPTION EQUIPMENT

6. CARACTERISTICAS DEL ENLACE PARA TRANSMISION DE TELEVISION A TRAVES DEL HAZ SPOT - VB.

En muchos casos la programación de una emisora requiere ser enviada a centros de TV situados a distancias considerables. Por tanto se hace necesario contar con circuitos de transmisión de TV a largas distancias que garanticen una calidad de reproducción de la imagen.

En los cálculos de performance de los sistemas de TV por satélite es necesario primero derivar el C/N y luego usando los parámetros seleccionados de video determinar el S/N.

Los haces spot del INTELSAT - VB pueden solamente ser accedidos por los transpondedores 7-8, 9, 10, 11 y 12 en el norte.

Uno de los transpondedores es un canal de 72 MHz de ancho de banda con un pire adicional de 3 db.

6.1 Parámetros de transmisión de TV en el Sistema INTELSAT .-

En el Cuadro — 17 se definen el parámetro f_{dp} ; desviación de frecuencia de cresta y el parámetro B_{IF} : ancho de banda de IF de recepción para los sistemas de transmisión de TV/FN de INTELSAT.

CUADRO - 17

SISTEMA DE TV	TV en 17.5 MHz		TV en 20 MHz		TV en 30 MHz	
	f_{dp} (MHz)	B_{IF} (MHz)	f_{dp} (MHz)	B_{IF} (MHz)	f_{dp} (MHz)	B_{IF} (MHz)
M(525/60)	7.5	15.75	10.5	18.0	10.75	30.0*
B,C,G,H (625/50)	7.5	15.75	10.5	18.0	9.0	30.0*
D, K, L (625/50)	7.5	15.75	10.5	18.0	9.0	30.0*

* Esta cifra se reduce a 22,0 MHz cuando la recepción se efectúa en una estación terrena normalizada tipo B.

En el Cuadro -18 se muestra los factores de ponderación y de desacentuación definidos en la Rec. 421-3 del CCIR, y en el Cuadro -19 se indica los factores de ponderación y de desacentuación relacionados con la red de ponderación unificada definida en la Red. 567 del CCIR. Las características de desacentuación para los sistemas de 525 y 625 líneas se definen en la Rec. 405-1 del CCIR.

CUADRO - 18

SISTEMAS DE TV	f_v (MHz)	f_{wd} (db)
M (525/60)	4.2	12.8
B, C, G, H (625/50)	5.0	16.3
D, K, L (625/50)	6.0	18.1

CUADRO - 19

SISTEMAS DE TV	f_v (MHz)	f_{wd} (db)
M (525/60)	5.0	14.8
B,C,G,H (625/50)	5.0	13.2
D,K,L (625/50)	5.0	13.2

6.2 Determinación del C/N .-

La calidad de la imagen es función entre otras cosas de la banda pasante del sistema de transmisión y del nivel de ruido aleatorio continuo. Los siguientes cálculos estarán referidos al borde de cobertura del haz spot.

Se asume:

Transmisión de una cadena de TV por transpondedor de 36 MHz - Estación remota ($\emptyset = 3.5$ mts, $G/T = 19.4$ db/K)

i) Enlace de Subida

$$(C/No)_u = SFD + G/T_s - (G.A)_u - K + BO_i + loss$$

$$(C/No)_u = -77.6 - 16 - 37.3 + 228.6 - 1.7 = 96.0 \text{ db-Hz}$$

$$(C/N)_u = 96.0 \text{ db-Hz} - 10 \log (15.75 \text{ MHz})$$

$$(C/N)_u = 24.0 \text{ db}$$

A esto le sumamos:

$$C/I = 27 \text{ db} - \text{ Interf. cocanal}$$

$$C/I = 27 \text{ db} - \text{ Interf. canal adyacente}$$

dando:

$$C/(N + I)_{up} = 21.0 \text{ db}$$

ii) Enlace de bajada

$$(C/No)_d = EIRP - L_d + G/T_e - K - Loss$$

$$(C/No)_d = 32.5 - 195.7 + 19.4 + 228.6 - 1 = 83.8 \text{ db-Hz}$$

$$(C/N)_d = 83.8 - 72.0 = 11.8$$

A esto le sumamos:

$$C/I = 27 \text{ db} \quad \text{Interf. cocanal}$$

$$C/I = 27 \text{ db} \quad \text{Interf. de canal adyacente}$$

dando:

$$C/(N + I)_d = 11.5 \text{ db}$$

$$\text{iii) } C/(N + I)_{up} + C/(N + I)_d$$

$$C/(N + I)_t = 21.00 + 11.5 = 11.0 \text{ db}$$

$$C/(N + I)_t \text{ m\u00ednimo} = 11.0 \text{ db (valor umbral de un demodulador FM convencional)}$$

$$\text{Margen disponible } 11.0 - 11 \text{ db} = 0.0 \text{ db}$$

6.3 Determinaci\u00f3n del S/N

La relaci\u00f3n se\u00f1al de video/ruido ponderado en un sistema de TV/FM se obtiene mediante

$$(S/N)_v = 10 \log \left(\frac{6 f_{dp}^2 \cdot B_{IF}}{f_v^3} \right) + F_{wd} + (C/N)_{IF}$$

en donde:

$(S/N)_v$ La relaci\u00f3n de se\u00f1al de video/ruido ponderado en db.

$(C/N)_{IF}$ La relación portadora de IF/ruido en db
 f_{dp} desviación de cresta de la frecuencia de la portadora de TV/FM, de un tono de prueba de 1.0 v, a la frecuencia de transición de la característica de preacentuación.

B_{IF} ancho de banda de IF de recepción

Para: $f_v = 5$ MHz, $f_{wd} = 14.8$ db, $f_{dp} = 10.75$ MHz

y $B_{IF} = 30$ MHz, se tiene:

$$(S/N)_v = 10 \log \left(\frac{6 \times 7.5^2 \times 15.75}{5.0^3} \right) + 14.8 + (C/N)_{IF}$$

$$(S/N)_v = 31.1 + (C/N)_{IF}$$

Luego

$$S/N = 31.1 + 11.0 = 42.1 \text{ db}$$

De los resultados del estudio se desprende que es conveniente utilizar estaciones con antenas de 3.5 metros de diámetro, las cuales otorgan una razón señal a ruido de $S/N = 42.1$ db cuando se ocupan los parámetros típicos de una portadora de televisión de 17.5 MHz de INTELSAT. Esta señal a ruido proviene de recibir una razón de portadora a ruido de $C/N = 11.0$ db. Aumentando la desviación podría aumentarse el valor de S/N con cierto riesgo de experimentar excesivo ruido de impulso y a la vez ruido de truncaciones. Generalmente se obtendría un mejoramiento sustancial en la razón S/N de video si los filtros de RF fueran mayor que los considerados en este caso 15.75 MHz, lo cual daría mayor

rango para aumentar la desviación. En este caso se intentó el diseño con filtros de 22 MHz pero entonces el valor de C/N queda en el umbral de FM. Por esta razón se concluye que el diseño óptimo se obtiene utilizando filtros con ancho de banda de 15.75 MHz.

En el Cuadro - 17 se muestra los cálculos detallados del valor recibido de la razón portadora a ruido C/N para distintos tamaños de antenas. Esto permite visualizar el efecto de reducción del tamaño de la antena y además permite determinar la calidad de video que se obtendría en estaciones ya existentes de la red.

En la Fig. - 41 se muestra una relación entre el desvío de la frecuencia de la señal de video, relación portadora/densidad de ruido, relación señal/ruido de video y la sensibilidad de la estación terrena de recepción G/T.

En el lado derecho de la figura las curvas trazadas muestran la relación entre el desvío de frecuencias de la señal de video y la relación portadora/densidad de ruido para una determinada relación señal/ruido de video. Estas curvas son el resultado de la aplicación de la ecuación de FM. En el mismo lado de la figura las curvas continuas representan los puntos en que el ruido impulsivo comienza a ser notado en la imagen para varios anchos de banda del filtro de IF. Estas curvas son el resultado de medidas efectuadas en un buen receptor con un demodulador de extensión umbral (TED), y usando señal de barras de color como señal de test. La porción plana de cada curva corresponde a desvíos para los cuales la banda de CARSON de la señal de TV

modulada es menor que la banda del filtro de FI. A medida que el desvío aumenta las curvas tienden a crecer; indicando que es preciso mayor nivel de la señal para evitar el ruido impulsivo.

En esta parte de las curvas hay algún sobre desvío de la portadora y el ruido impulsivo adicional es consecuencia del truncamiento del espectro.

La relación señal/ruido térmico deseada es 46 db sin ruido impulsivo. Esta calidad es bastante buena para un sistema de este tipo, como se muestra en la Fig. - 42

CUADRO -- 17

CALCULO DE C/N, EN FUNCION DEL G/T EN LA BANDA C.

	G / T (d b / e K)				
	19.4	22.7	27.0	29.0	31.7
. Occupied Carrier Bandwith (MHz)	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75
. Allocated Carrier Bandwith (MHz)	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
UP LINK					
. Earth Station EIRP (dbw)	85.1	85.1	85.1	85.1	85.1
. Up-Link pointing loss (db)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
. Path Loss (db)	199.6	199.6	199.6	199.6	199.6
. Up-Link Attenuation (db)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
. Saturation Flux Density (dbw/m ²)	-77.6	-77.6	-77.6	-77.6	-77.6
. Sate11ite G/T (db/eK)	-16	-16	-16	-16	-16
. Input back off (db)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
. C/N Terra1 noise (db)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
. Co-channel Interf. (db)	27	27	27	27	27
. Ady-Channel Interf. (db)	27	27	27	27	27
. C/(N + I) Up Link (db)	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
. C/I Intermodulation (db)	100	100	100	100	100
OOW LINK					
. Down Link attenuation (db)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
. Saturation EIRP (dbw)	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5
. Out put Back-off (db)	00	00	00	00	00
. Path Loss (db)	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7
. Down Link pointing loss (db)	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5
. Earth station G/T (db/eK)	19.4	22.7	27.0	29.0	31.7
. C/N termal noise (db)	11.8	15.1	19.2	21.2	23.9
. Co-channel Interf.	27	27	27	27	27
. Ady Channel Interf	27	27	27	27	27
. C/N + I Down Link (db)	11.5	14.5	17.9	19.3	20.9
TOTAL C/(N+I) (db)	11.0	13.6	16.1	17.0	17.9
OCCUPIED CARRIER BW (db.Hz)	72	72	72	72	72
TOTAL C/(N. + Io) (db-Hz)	83.0	85.6	88.1	89.0	89.9
REQUIRED C/(No + Io) (db-Hz)	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
MARGIN (db)	0	2.6	5.1	6.0	6.9
(S/N) _v	42.1	44.7	47.2	48.1	49.0

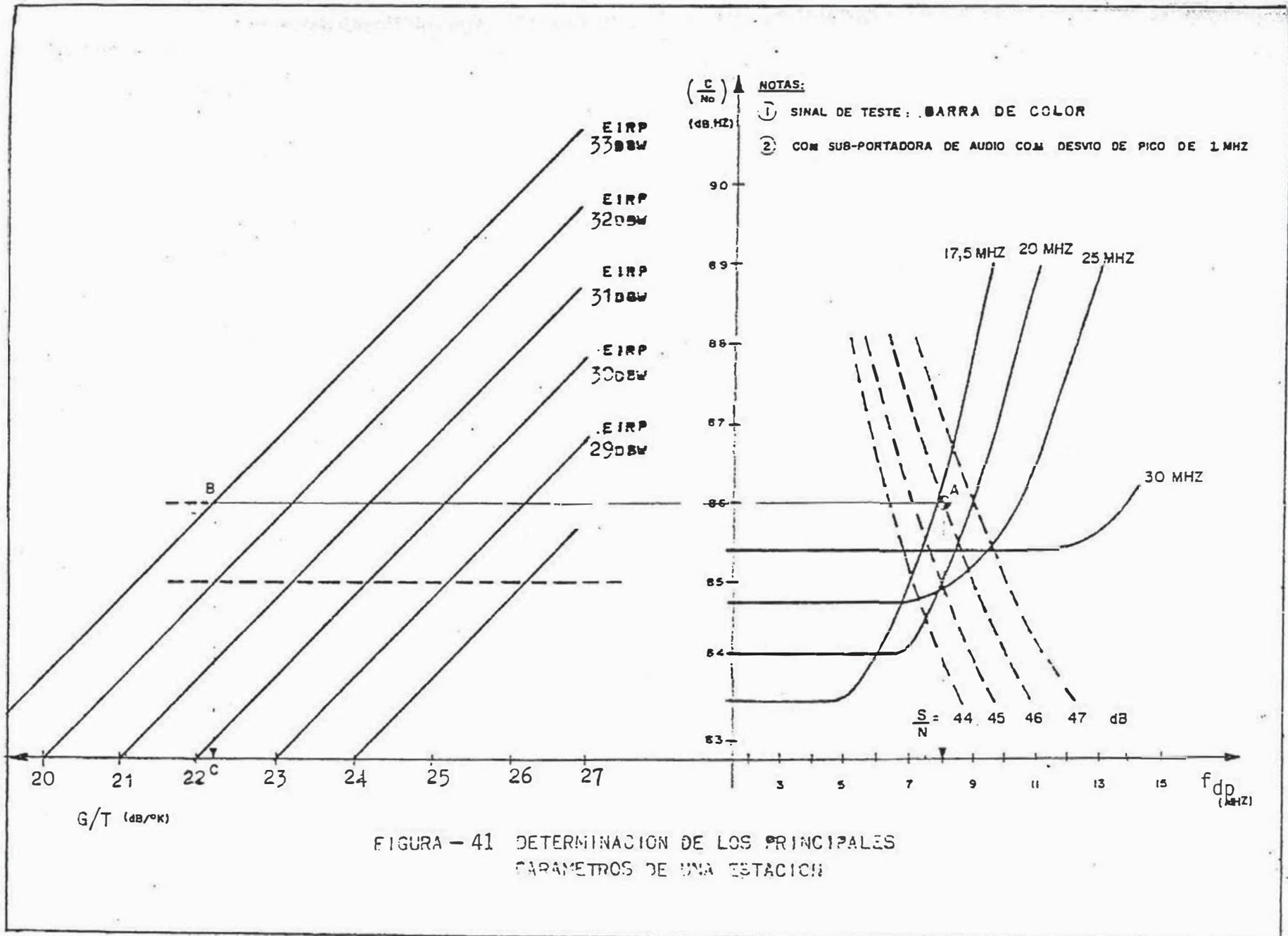
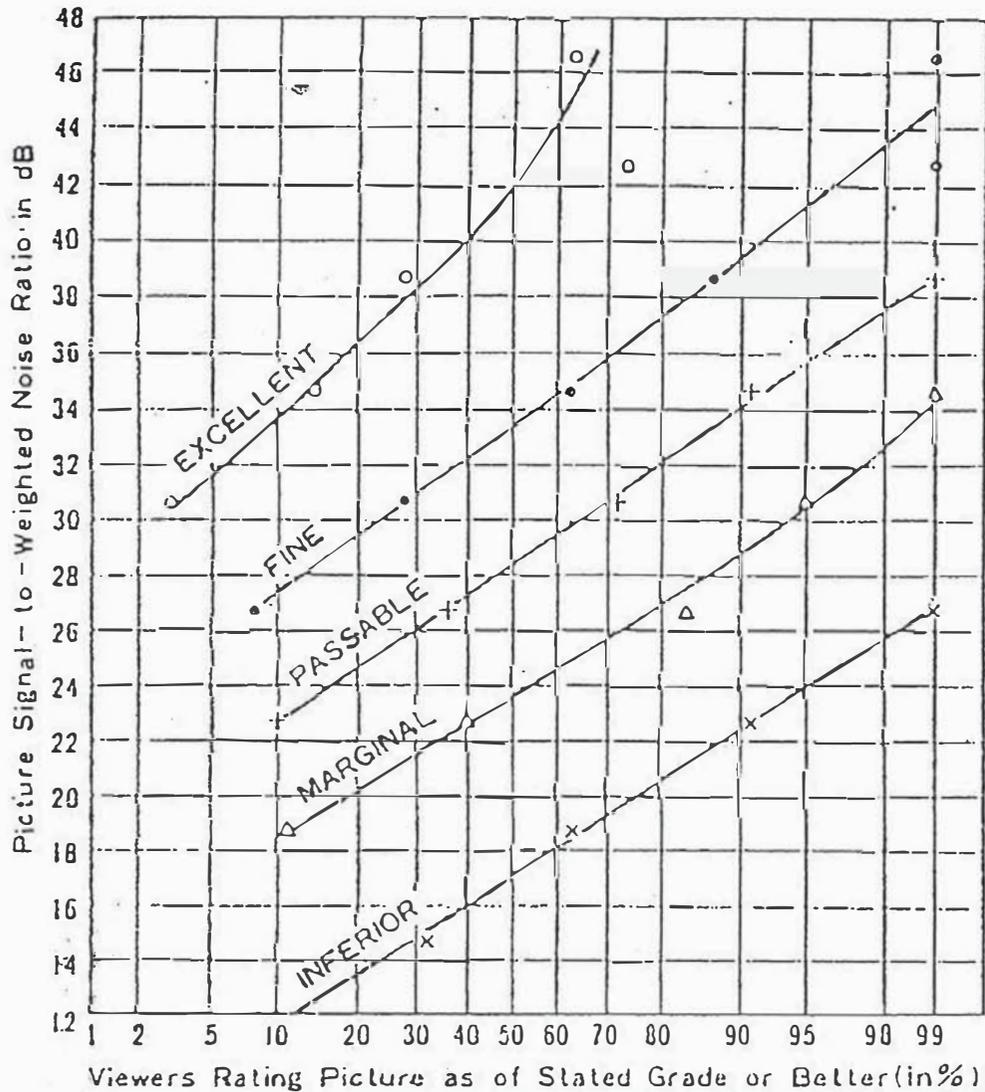


FIGURA - 41 DETERMINACION DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS DE UNA ESTACION



EXCELLENT :

EXTREMELY HIGH QUALITY, AS GOOD AS THE OBSERVER COULD DESIRE

FINE :

HIGH QUALITY PROVIDING ENJOYABLE VIEWING

PASSABLE :

ACCEPTABLE QUALITY

MARGINAL :

POOR QUALITY, AND THE OBSERVER WISHED HE COULD IMPROVE IT

INFERIOR :

VERY POOR QUALITY, BUT THE OBSERVER COULD WATCH.

- A RESULT OF TASSO EXPERIMENT -

FIG. - 42 TV PICTURE QUALITY SUBJECTIVE ASSESSMENT

7. CONSIDERACIONES SOBRE DISTRIBUCION DE T.V.

Tres consideraciones que se relacionan entre sí influyen en el diseño del sistema para la distribución de TV: (i) objetivos en cuanto a calidad de imagen; (ii) G/T de la estación terrena; y (iii) P.I.R.E. del transpondedor y ancho de banda. En lo referente a los objetivos sobre la calidad de imagen, cabe indicar que se califica como buena una imagen con una relación eficaz nominal s/n de video de 45 db.

La Fig.- 43 es un trazado de la calidad de la señal de video en función de la suma del P.I.R.E. del transpondedor y de la G/T de la estación terrena. Las curvas que se muestran corresponden a un sistema de 525 líneas tal como el NTSC.

Para una calidad de señal requerida, es posible efectuar permutas entre el P.I.R.E. del transpondedor y la G/T de la estación terrena; reconociendo naturalmente la disponibilidad de un número limitado de tipos de transpondedor en un determinado satélite. En principio, se puede seleccionar específicamente el P.I.R.E. del transpondedor y la G/T de la estación terrena sobre la base de minimizar el costo total del sistema (Segmento espacial más Segmento terrestre), tomando en consideración el número de estaciones terrenas para recepción de TV.

En la práctica, las decisiones sobre la G/T de la estación terrena están influenciadas en gran medida por las consideraciones económicas y operativas que, en general, parecen imponer un tamaño de estación terrena entre 4 y 6 metros y una G/T correspondiente de 21 a 26 db/°k.

Como se indicó anteriormente los objetivos de la calidad de la imagen son los factores determinantes en la selección de la G/T de una estación terrena para recepción de TV solamente. En realidad, la amplia gama de permutas económicas que existe para diseñar los sistemas de telefonía no son aplicables en el diseño de una red de TVRO. Por ejemplo, a fin de lograr una calidad de imagen "aceptable" con transpondedores de Haz global con P.I.R.E. de 23.5 dbw, se necesita una estación terrena con una G/T mínima de 29 db/°k. Igualmente, para lograr los mismos objetivos de calidad con transpondedores de 31 dbw, se requiere de una estación terrena con una G/T de unos 21.5 db/°k. Por tanto los costos del segmento terrestre están simplemente en función del número de estaciones de recepción con que cuenta la red. No obstante, es útil examinar el asunto del costo total del sistema como una función del número de estaciones de la red, para diversos P.I.R.E. de transpondedor.

La Fig. - 44 indica el costo anual total correspondiente a una red "hipotética" para recepción de TV, compuesta de "N" estaciones terrenas en que N varía de 0 a 2000. Las curvas corresponden a tres tipos diferentes de transpondedores, es decir con un valor de PIRE de 23, 29 y 31 dbw. Como lo señala la Fig. 44 existe un punto de "transición" en que el costo adicional de los transpondedores de PIRE más elevado se compensa con creces por los ahorros en el segmento terrestre relacionados con el uso de estaciones terrenas con una G/T más baja.

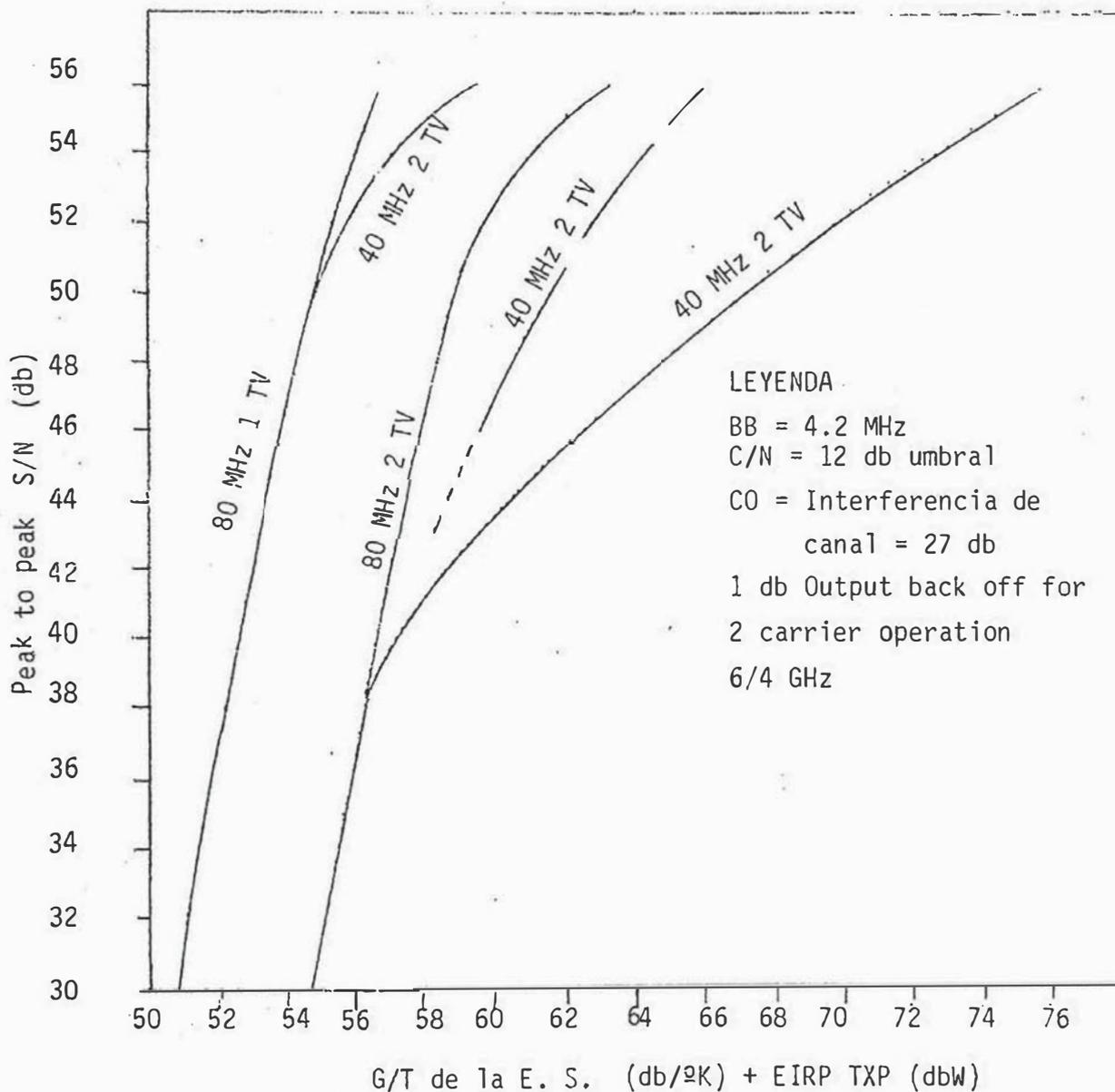


Fig - 43 Calidad de la señal de TV, como una función de la G/T de la Estación Terrena y la PIRE del Satélite

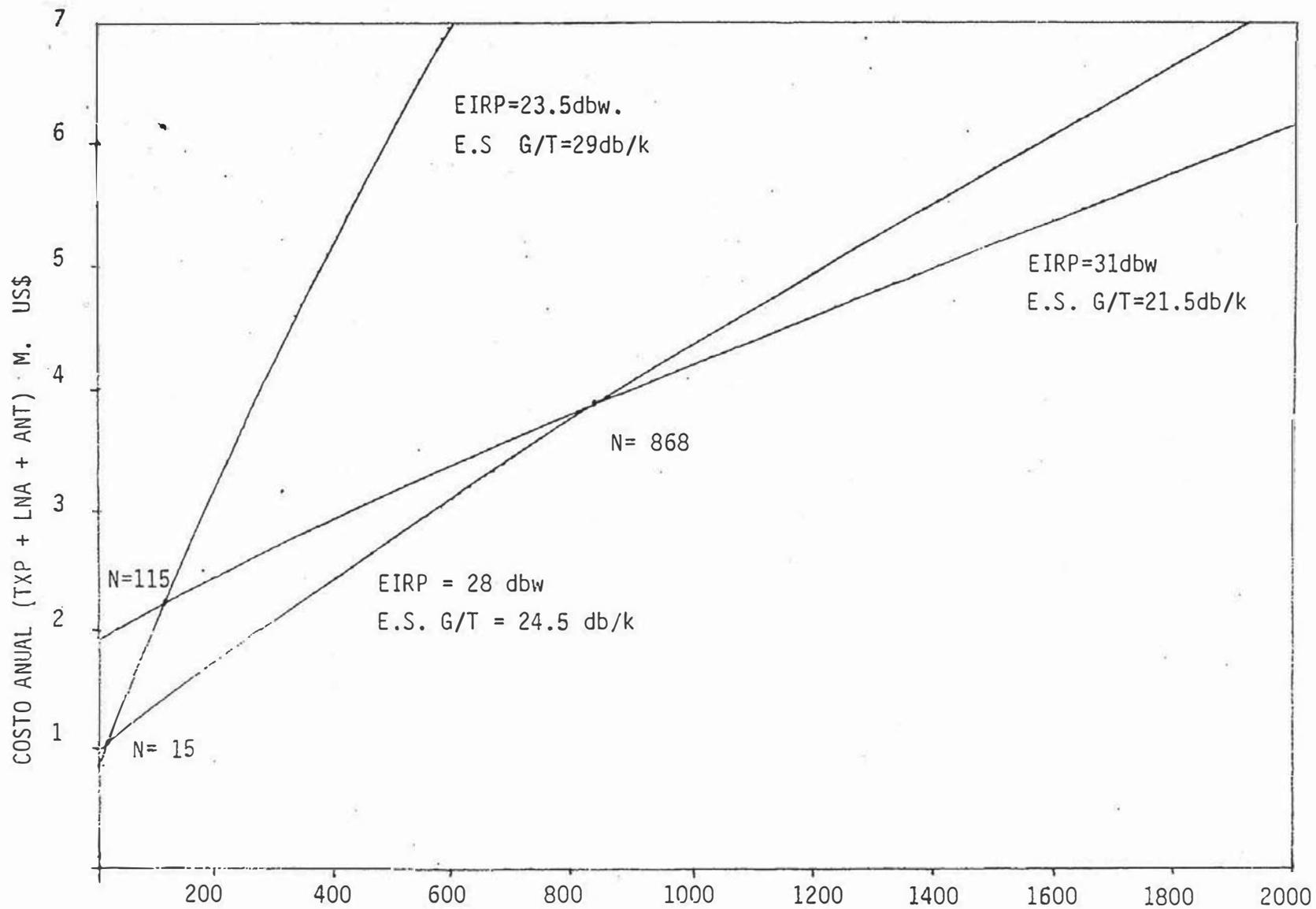


FIG. - 44. Costo anual (TXP.+LNA.+ANT.) para redes de distribución de T.V.frente al N° de E.S. de la red.

B. COMPARACION ECONOMICA.

1. INTRODUCCION

Para planificar redes de comunicaciones de larga distancia actualmente existen dos medios apropiados: Sistemas de Radio relevo terrestre y satélites.

El rendimiento de estos sistemas de transmisión depende de la capacidad y/o longitud de los enlaces de una aplicación en particular y como estos parámetros raramente permanecen constantes en una red cualquiera, entonces resulta más eficiente establecer redes de larga distancia en base a una combinación de las dos tecnologías.

Para determinar la aplicación específica de un sistema de transmisión en la cual sea la alternativa tecnico-económica más viable, evaluaremos el rendimiento de ambos sistemas en un caso real de aplicación.

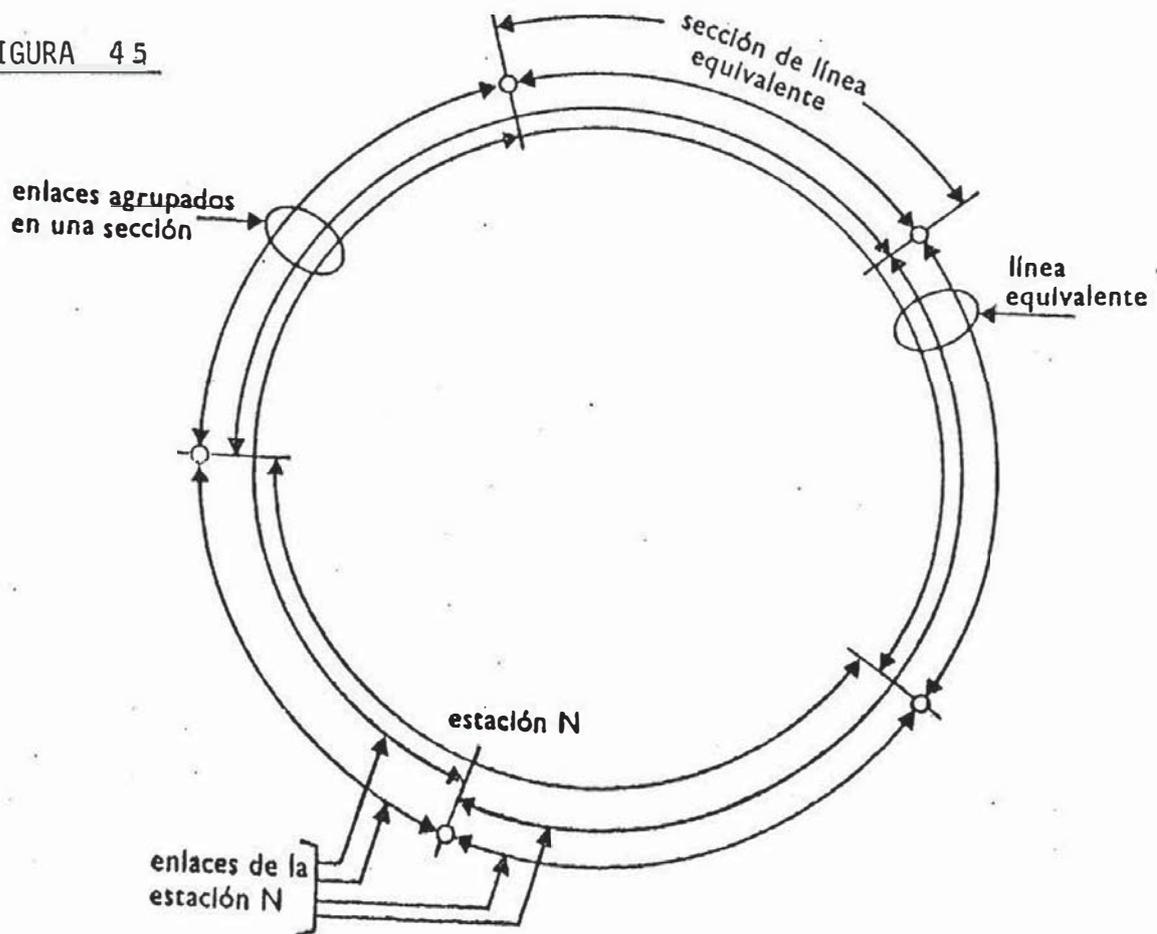
2. METODOLOGIA DE COMPARACION ECONOMICA PARA PEQUEÑOS GRUPOS DE CIRCUITOS.

La creación de una red de telecomunicaciones tan compleja y costosa para las áreas rurales exige estudiar y elegir con el mayor cuidado posible la utilización de los sistemas mas económicos y mejor adaptados a las condiciones de empleo en cada caso. A tal efecto se ha elaborado un método de análisis para comparar los factores económicos de los sistemas espaciales con los sistemas de relevadores radio eléctricos, hábida cuenta de un imperativo previo que consiste en obtener parámetros de potencia óptimos de los satélites y de las estaciones terrenas, a fin de reducir al mínimo el costo global.

El análisis en mención considera un sistema de telecomunicaciones por satélite en el que las estaciones terrenas pueden tambien estar conectadas entre sí por enlaces terrenales, a fin de dar servicio a localidades intermedias. En esta red, es preciso pues, que el empleo de circuitos del sistema espacial resulte más ventajoso, desde el punto de vista económico, que la utilización de circuitos terrenales de tipo clásico, tratase de circuitos de construcción reciente o de antiguos circuitos modernizados. Considerada la cuestión desde este ángulo, es normal que la eficacia del sistema de telecomunicaciones por satélite sea mas crítica.

El método de análisis propuesto permite hacer una evaluación económica del rendimiento de sistemas cuyas estaciones terrenas estén separadas por distancias apreciables o por barreras

FIGURA 45



Para realizar un sistema en el que cada una de las N estaciones pueda corresponder directamente con todas las demás, hay que prever $N(N-1)/2$ enlaces entre esas estaciones consideradas por pares.

En la sección de línea equivalente (Sección entre dos estaciones asociadas), hay que agrupar los circuitos de los diversos enlaces en haces de circuitos importantes. En estas condiciones, el coeficiente de agrupación $K_{gr.j}$ en la sección j de una red terrestre puede considerarse como la relación entre el número $n.j$ de circuitos de tal sección j y el número medio de circuitos \bar{n} de un enlace entre un par de estaciones:

$$K_{gr.j} = n.j / \bar{n} \quad (1)$$

es decir, que es igual al número de enlaces agrupados en una

geográficas.

En el cálculo del costo de una red terrenal equivalente se debe tener en cuenta la agrupación en haces de los circuitos a la que se procede inmutablemente en la práctica mediante la reunión de los circuitos de enlace entre diferentes pares de estaciones. La agrupación es un medio de reducir considerablemente el coste por circuito, puesto que en los sistemas de gran capacidad el coste del kilómetro de circuito es siempre mucho menor. Si se hace caso omiso de este factor, se corre el riesgo de llegar a conclusiones erróneas sobre el aumento del coste por kilómetro de circuito de una red terrenal que vá unido al aumento del número de estaciones, debido a la disminución del número de circuitos en cada relación. Partiendo de esta hipótesis se llegaría a una representación errónea del rendimiento económico del acceso múltiple. De hecho cuando se aumenta el número N de estaciones (para $N \gg 1$ y para una capacidad dada del satélite), el número de circuitos agrupados en haces en la relación equivalente es prácticamente el mismo.

Como señalamos anteriormente, la característica principal de este trabajo reside en el hecho de que tiene en cuenta la posibilidad de agrupar circuitos de las redes terrestres en arterias multicanales de gran capacidad. Hay que examinar pues el efecto de la agrupación de los circuitos en una red terrenal y aplicar las fórmulas apropiadas al ejemplo de un conjunto de estaciones terrenas repartidas en anillo (Fig. 45).

sección dada de la línea equivalente.

En el caso más sencillo representado en la Fig. 45., en el que todas las estaciones de la red terrenal equivalente tienen la misma capacidad y están situadas a igual distancia unas de otras formando un anillo, el coeficiente de agrupación es más o menos el mismo en todo el anillo, desde el momento en que N es igual o superior a 3. Vale: (*)

$$K_{gr} = \frac{N^2 - 1}{8} \quad (2)$$

(*) La fórmula (2) es exacta si N es impar y dá un valor medio si N es par.

En una red de esta clase, el número de circuitos entre cualquier par de estaciones, es decir el número de circuitos por enlace, es igual a:

$$n = 2.n_{sat} / N.(N-1) \quad (3)$$

En donde:

n_{sat} = capacidad total del satélite (en circuitos bidireccionales)

Las fórmulas (1), (2) y (3) demuestran que, cuando $N \gg 1$, la capacidad n_{1i} de la línea terrestre no depende ya del número de estaciones de la red:

$$K_{gr} \approx N^2/8 \quad \text{para } N \gg 1$$

$$n_{1i} = K_{gr} \times n = N^2 \times 2 n_{sat} / 8N (N-1) \approx n_{sat} / 4$$

$$n_{1i} \approx n_{\text{sat}} / 4 \quad (N \gg 1) \quad (4)$$

Se demuestra, por otra parte que, en el caso de la red anular (Fig. 45), la longitud media de un enlace es:

$$L = l \cdot (N + 1)/4 \quad (5)$$

Donde:

l = longitud de la sección de línea equivalente entre dos estaciones adyacentes.

Si se considera que un sistema espacial y un sistema terrenal de capacidad equivalente (es decir, con un mismo número de estaciones y un mismo número de circuitos entre las estaciones) son igualmente equivalentes desde el punto de vista económico, esto es, que sus costes anuales son los mismos:

$$C_{\text{sat}} = C_{\text{ter}} \quad (6)$$

En consecuencia

$$C_{\text{sat}} = \varphi(n_{\text{sat}}, N)$$

$$C_{\text{ter}} = \psi(N, n_{1i}, l) \quad (7)$$

Y en el caso del sistema anular

$$C_{\text{ter}} = lNq(n_{1i}) \quad (8)$$

en donde

$q(n_{1i})$ = Coste por unidad de longitud de una línea terrenal en función del número de circuitos que comprende.

Por otra parte, q depende de la estructura de los circuitos de la red terrenal, es decir, de la medida en que esta red está constituida por arterias de construcción moderna y en que los

enlaces existentes se han mejorado mediante la instalación de equipos nuevos (este elemento está representado por el coeficiente β). (Ver nota al final del párrafo).

Con las relaciones (6) y (7), es decir, en el caso de la Fig. 45

$$l_{eq} = C_{sat} / N \cdot q(n_{1i}) \quad (9)$$

Si se utiliza (5), se obtiene la longitud de un enlace de la red económicamente equivalente:

$$\bar{L}_{eq} = C_{sat} (N + 1) / 4 N q(n_{1i}, \beta) \quad (10)$$

Mientras que utilizando (1) y (2), se puede dar a la relación (10) la forma siguiente:

$$\bar{L}_{eq} = 2 C_{sat} K_{gr} / N (N-1) q(n_{1i}, \beta) \quad (11)$$

Así, si la disposición requerida para las estaciones es tal que la distancia media entre ellas (\bar{l}) sea inferior a la distancia equivalente entre estaciones l_{eq} , o si la longitud media \bar{L} de un enlace es inferior a la longitud equivalente de un enlace L_{eq} , es preferible construir una red terrenal de telecomunicaciones, ya que el coste total de la red $C_{ter \Sigma}$ es inferior a los gastos exigidos por un sistema de satélites C_{sat} .

En cambio, cuando $l > l_{eq}$, es preferible construir una red de telecomunicaciones por satélites.

Para poder comparar fácilmente los costes por canal en un sistema por satélites (P_1) y en la red terrenal equivalente (P'_1), hay que tener presente dos circunstancias: en primer término, en un sistema de telecomunicaciones por satélite, el coste por

canal depende de la capacidad n_{sat} del satélite, mientras que en un enlace terrestre de radio equivalente depende de la capacidad n_{li} de dicho enlace. Entre estas dos capacidades existe cierta relación que se indica por la expresión (4) para estaciones dispuestas en anillo.

Por otra parte, el coste por canal en la red terrenal es función de la longitud del enlace y habrá que precisar qué parámetro debe utilizarse entre los que caracterizan esta longitud. Si se expresa el coste global de un sistema de telecomunicaciones por satélites mediante la fórmula:

$$C_{sat \Sigma} = n_{sat} \cdot P_1(n_{sat}, N) \quad (12)$$

y el coste global de una red terrenal por la fórmula:

$$C_{ter \Sigma} = n_{li} \cdot l_{\Sigma} \cdot P_1'(n_{li}) \quad (13)$$

$$l_{\Sigma} = l \cdot N$$

y teniendo como referencia las condiciones de equivalencia económica (6), se obtiene

$$n_{sat} \cdot P_1(n_{sat}, N) = n_{li} \cdot l_{\Sigma} \cdot P_1'(n_{li}) \quad (14)$$

$$P_1 = \left[l \cdot \frac{n_{li}}{n_{sat}/N} \right] P_1'(n_{li}) \quad (15)$$

utilizando (5) se obtiene una relación mucho más fácil de manejar:

$$P_1(n_{sat}, N) = L_{eq} \cdot P_1'(n_{li}) \quad (16)$$

La relación (16), cuya significación física es muy clara, constituye la base de toda comparación económica entre los sistemas

Conviene señalar que esta relación es probablemente válida para cualquier configuración de la red terrenal equivalente (estructura radial o en cadena)

NOTA.- Es fácil expresar $q(n_{1i})$ en función de la relación entre el porcentaje de instalaciones recientes y de las instalaciones modernizadas, si se considera que en una parte cualquiera l' de la longitud total de un enlace equivalente todos los circuitos están constituidos exclusivamente por instalaciones recientes, mientras que la otra parte l'' está constituida por enlaces modernizados; se obtendrá entonces:

$$\beta = l'/l' + l''$$

En consecuencia:

$$q(n_{1i}, \beta) = q'(n_{1i}) + (1 - \beta) q''(n_{1i})$$

en donde:

q' = Coste específico por unidad de longitud de una línea de capacidad n_{1i} constituida por nuevas instalaciones.

q'' = Costo específico correspondiente, en el caso de una línea modernizada.

Conviene no olvidar que q'' es función, no sólo de n_{1i} , sino también del número total de circuitos para el enlace terrenal modernizado.

3. PARAMETROS DE POTENCIA Y RENDIMIENTO ECONOMICO OPTIMO PARA LOS SISTEMAS DE COMUNICACION POR SATELITE.

Los parámetros que conviene tomar en cuenta son: la potencia del transmisor a bordo del satélite, la relación entre la ganancia de la antena de la estación terrena y la temperatura de ruido total del sistema de recepción, es decir el factor de calidad de la estación terrena (G/T), la potencia de transmisión de la estación y la excursión de frecuencia (valor eficaz correspondiente al nivel medido de un canal).

Una característica esencial del servicio nacional es la potencia (p.i.r.e.) suministrada por el satélite la que, junto con la sensibilidad del transpondedor, determina el tamaño de la terminal terrestre para poder ofrecer una calidad específica de servicio.

En un sistema nacional típico que consta de una combinación de servicios de telefonía rural, telefonía troncal y distribución de televisión, se puede demostrar que la potencia óptima de un transmisor-receptor de satélite (y por consiguiente, la tasa de utilización de circuitos por satélite que corresponden a un mínimo de gastos) es función de la capacidad de transmisión del sistema, del número de estaciones terrenas, número de circuitos por estación, etc.

3.1 Hipótesis adoptadas.

Para determinar el rendimiento de los sistemas por satélite, examinaremos el ejemplo de un conjunto de 30 estacs. terrenas repartidas en anillo; se ha elegido esta configuración por su

Cuadro 18.

COSTOS - SUB SISTEMA DE ANTENA

Este subsistema puede ser dividido como sigue:

1. Reflector parabólico, sub reflector, estructura de soporte, pedestal y cimiento

Tamaño	Costo (US\$ 000)
5 mts	30
6.1	50
10	100
13	200
32	2,400

2. Costos del Alimentador *

Actualmente en la banda C los alimentadores de dos puertas presentan un aislamiento de copolarización en el rango de 15-18 db; mientras que un alimentador de 4 puertas da unos 30 db de separación

2.1 Costos de alimentadores de Polarización circular

Alimentadores de Polarización Circular (US\$ 000) - Banda C

- Antena Diameter (D)	D 6.1 mts	D=11 mts	D=13 mts	D= 30 mts
- 4 part frequency Reuse	\$ 40	\$ 50	\$ 90	\$ 350
- Receive only feed				
(Additional to cost of linear pol. feed	\$ 2	\$ 8	n/a	n/a

* Generalmente los fabricantes incorporan en sus cotizaciones de la antena los costos de un alimentador de polarización lineal.

2.2 Costos del sistema de rastreo automático

El sistema de rastreo a pasos incluye: Servomecanismos, motores, receptor de beacon.

Diámetro Antena	D 7 mts**	D - 10 mts	D = 30 mts
Costo sistema de rastreo	\$ 18 K	\$ 35 K	\$ 250 K

** Unidad de posicionamiento motorizado de antena, incluye una programación para movimiento a pasos.

Para diámetros menores que 10 mts en la banda C no es necesario rastreo automático para estaciones terrenas que trabajen con INTELSAT V y INTELSAT VI porque estos satélites mantienen su estabilidad mayor que $\pm 0.10^\circ$ en longitud y latitud.

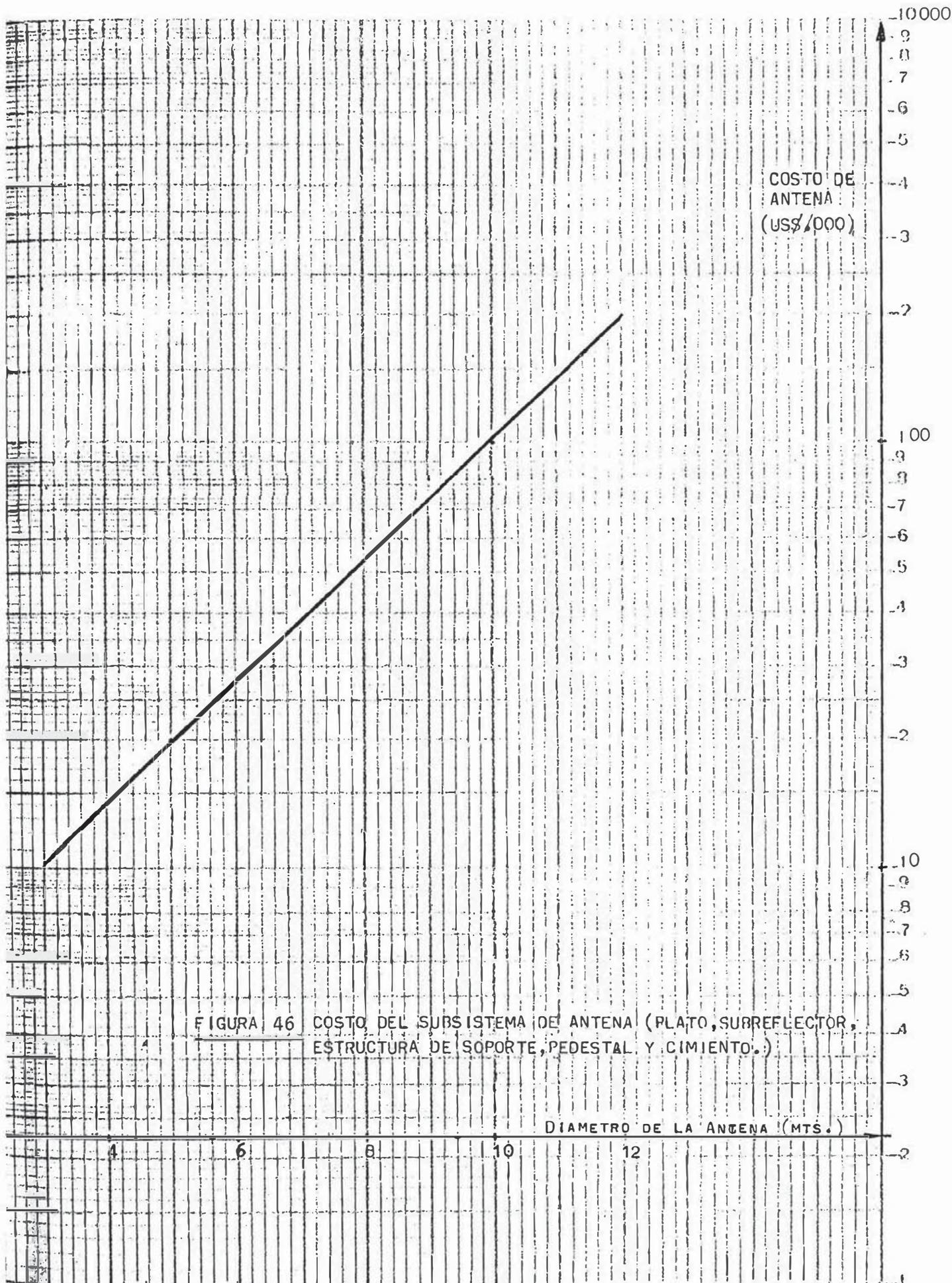


FIGURA 46 COSTO DEL SUBSISTEMA DE ANTENA (PLATO, SUBREFLECTOR, ESTRUCTURA DE SOPORTE, PEDESTAL Y CIMIENTO.)

CUADRO 19COSTOS DEL SUBSISTEMA AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA)

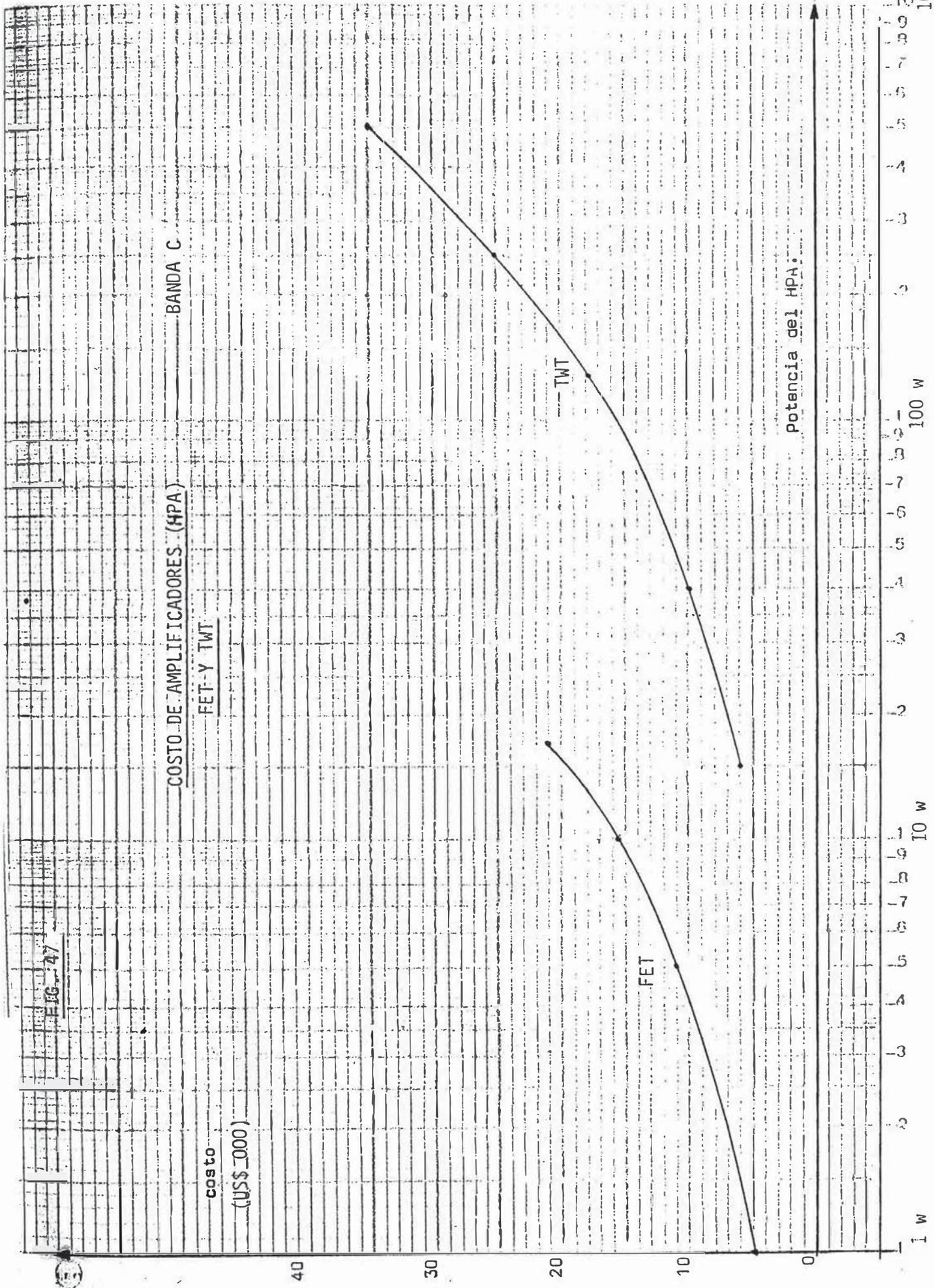
Los amplificadores de potencia no han sufrido un cambio de tecnología básico como en el caso de los LNA's, sin embargo los amplificadores de potencia en base a FET son una alternativa a los TWT's cuando los requerimientos de potencia son menores que 10 watts a 6 GHz.

La siguiente tabla muestra una lista de los costos de los HPA's en la banda C.

C- BAND HPA COSTS BASED ON SINGLE UNIT PER PURCHASE (\$000)

Max Power Output (watts)	Helix (B.W. 500 MHz)	Coupled Cavity (B.W. 500 MHz)	Klystron (B.W. 40 MHz)
15	\$ 8		
18	8		
35	10		
75	15		
125	20		
400	25		
600	35		
700	37		\$ 35
1000	80		
1200	80		35
1300			40
3000		\$ 150	
3200		160	
3350			40
10000			300

Para redundante se tiene que añadir el costo de un switch (Aprox 10 K) al costo de la segunda unidad.



CUADRO 20

COSTOS DEL SUB SISTEMA AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA)

Actualmente hay en uso cuatro tipos de LNA's

PARAMPS termoelectricamente enfriados

PARAMPS no enfriados

FET's termoelectricamente enfriados

FET's no enfriados

La siguiente tabla muestra los costos de los diversos tipos

COSTS FOR PARAMPS LNA's (60 db gain)

Type	Typical 4 GHz Noise Temperature	C O S T (\$ 0 0 0)		
		Single	Redundant	Triduntant (frec.reuse)
Cooled Paramp	26° K	34.5	73.0	110.0
" "	30	26.0	56.3	86.0
" "	36	21.0	46.0	71.0
Uncooled paramp	45	17.0	38.0	59.0
" "	75	11.0	27.0	41.0

Opciones típicas que vienen junto a estos sistemas son:

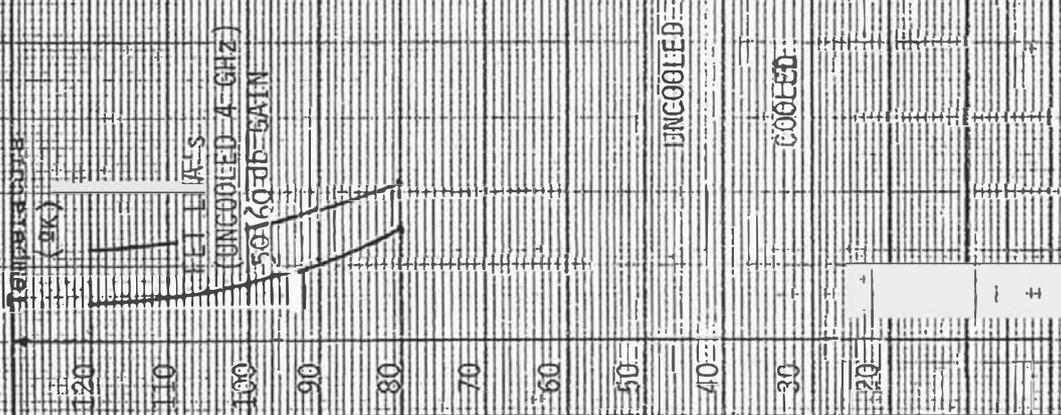
	<u>Cost (\$000)</u>
1. 50 db transmit reject filter	0.69
2. 30 db	0.29
3. Dehydrator unit	1.83
4. Dry air distribution unit	8.55
5. Remote Panel control	1.60
6. Solid state noise source (test equipment)	1.05
7. Test Sweeper (test equipment for antenna mounted amplifiers configuration)	5.50

COST FOR FET LNA's (UNCOOLEO, 4 GHz)

<u>Description</u>	<u>Cost (\$000)</u>
120° K, 50 db gain	1.10
120° K, 60 db gain	2.30
100° K, 50 db "	1.65
100° K, 60 db "	3.30
90° K, 50 db "	2.30
80° K, 50 db "	3.20

Para configuración redundante se tiene que añadir el costo de un conmutador: (Aprox 4 K) adicional más el costo de la segunda unidad.

FIG. 48 COSTS FOR PARAMP AND FET LNA'S



US\$ 000

40

30

20

10

0

10

20

30

40

sencillez, porque presenta el caso de más alto costo y porque las condiciones son entonces idénticas para todas las estaciones terrenas.

En el siguiente análisis se estima que el costo del sistema de antena de una estación terrena es proporcional al cuadrado de su diámetro mientras que el costo del transmisor de la estación terrena es proporcional a la raíz cuadrada de su potencia.

También se tiene en cuenta, el nivel de ruido del receptor de la estación terrena que determina el factor de calidad (G/T) de dicha estación. La relación entre el costo del LNA y su temperatura de ruido en una función casi regular.

Estas tres ecuaciones mostradas en las Figs. 46 , 47 y 48 basadas en los datos de los cuadros 18 , 19 y 20 respectivamente, sirven para determinar el costo mínimo de una estación terrena.

La curva de la Fig. 49 representa la variación de los precios del sistema de antena (C. Ant), del amplificador de entrada de bajo nivel de ruido (C. LNA) y del conjunto de estos elementos (C_{Σ}) en función del diámetro de la antena, para una relación G/T constante igual a 25 db.

Es evidente que existe una relación entre el diámetro de la antena y el tipo de LNA con el que se obtiene un valor dado de G/T, para un precio de costo mínimo de la estación. Las dimensiones óptimas de la antena y el valor eficaz de la temperatura de ruido del LNA de la estación terrena que corresponden a un costo mínimo de la estación, se han definido para diversos valores de G/T. Esta relación se ilustra en la Fig.- 50

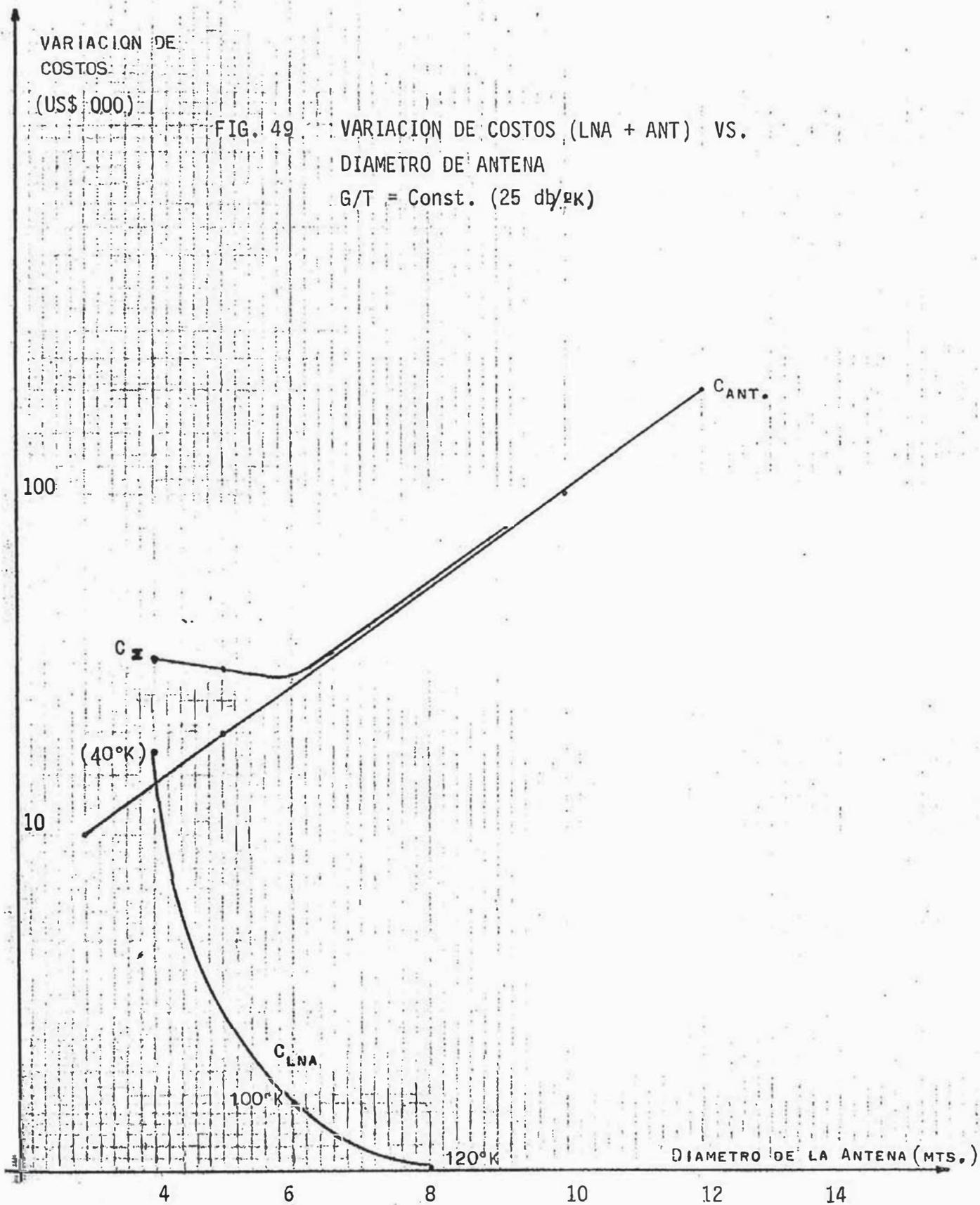
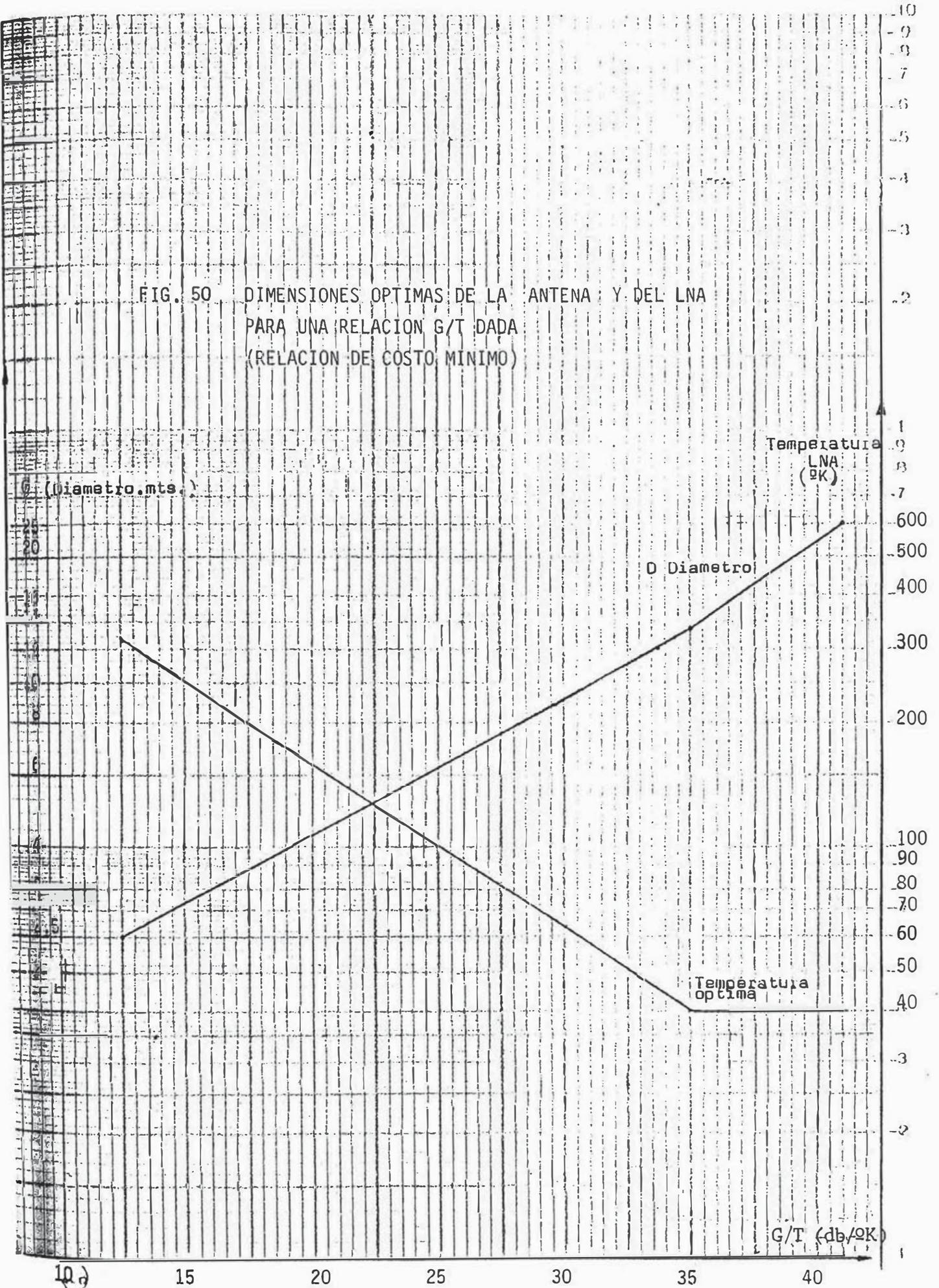


FIG. 50 DIMENSIONES OPTIMAS DE LA ANTENA Y DEL LNA
PARA UNA RELACION G/T DADA
(RELACION DE COSTO MINIMO)



En el Cuadro 21 se hace un estudio detenido de la influencia de los diversos subconjuntos de una estación sobre el costo de ésta, para una relación G/T dada. En el presente trabajo, el análisis relativo a los parámetros óptimos de un sistema de telecomunicaciones por satélite se funda en la hipótesis de que para una estación terrena con una G/T dada, los parámetros se han elegido según la Fig. 50, es decir, de modo que se obtenga el precio de costo mínimo de la estación terrena.

Entre el factor de calidad G/T de la estación y la potencia del satélite, P_{sat} existe, para un valor dado de ruido en el trayecto satélite-tierra, una relación de la forma

$$G/T_e = a_2 \cdot P_{\text{sat}}^{-1}$$

(los valores de los coeficientes se pueden determinar de la ecuación siguiente:

$$G/T_e = \left(\frac{C}{N_o} \right)_d - 32.9 - EIRP_d \quad (17)$$

Si se supone una cierta relación entre los niveles de ruido existentes en el trayecto tierra-satélite y en el trayecto satélite-tierra respectivamente, el nivel de potencia requerido para el transmisor de la estación terrena será proporcional a la potencia del transmisor del satélite.

En principio las relaciones indicadas son suficientes para las necesidades del análisis, ya que permiten expresar todas las variables por medio de una sola magnitud por ejemplo la G/T.

El factor de calidad de una estación caracteriza perfectamente sus posibilidades técnicas y constituye el criterio más eficaz para estudiar los sistemas de comunicaciones por satélite.

El problema de la optimización equivale entonces a determinar el costo mínimo de todo el sistema en función de la variable G/T. A tal efecto se puede fijar un límite inferior de la relación G/T determinado por la densidad máxima de flujo de potencia admisible en la superficie de la tierra.

3.2 Sensibilidad de Costo del sistema DOMSAT a las variaciones del (G/T) de las Estaciones Terrenas.

El uso de la capacidad disponible en un transpondedor varía inversamente proporcional con el (G/T) de las estaciones, sin embargo, el costo de las estaciones mismas varía directamente con el (G/T). Esto hace que exista un compromiso entre el G/T de la estación y el costo total de un sistema DOMSAT: costo del segmento terrestre más el costo de la capacidad alquilada.

El consumo de potencia del transpondedor por portadora en función del G/T de la estación terrena se puede deducir de la ecuación (17).

3.2.1. Cargos de alquiler de la Capacidad Espacial ofrecida por INTELSAT para los servicios nacionales planificados.-

En el siguiente Cuadro se muestra los cargos de alquiler actualizados a 1986 del segmento espacial ofrecido por INTELSAT:

TIPO	ANCHO DE BANDA (MHz)	NO CANCELABLE US \$ MILLONES/AÑO	CANCELABLE
Hemisf/Zona			
Banda C	18 (*)	0.414	0.496
	36	0.827	0.993
	72	1.654	1.985
Píncel-banda C	18	0.714	0.856
	36	1.427	1.713
Global	18	0.687	0.824
	36	1.374	1.649
Píncel-banda K	36	0.992	1.192
	72/241	1.985	2.382

(*) Disponibles únicamente en transpondedores de 36 MHz.

3.2.2 Costo por canal del Segmento Espacial en función del G/T.-

La capacidad potencial de tráfico de transpondedor ofrecido es:

$$N = \text{EIRP}_{dm} - \text{EIRP}_d \text{ (db)}$$

donde:

N = Capacidad potencial de canales del Txp

EIRP_{dm} = Potencia disponible del Txp

EIRP_d = Potencia necesaria/CH para el enlace de bajada

y como:

$$\text{EIRP}_{dm} = 28 \text{ dbw}$$

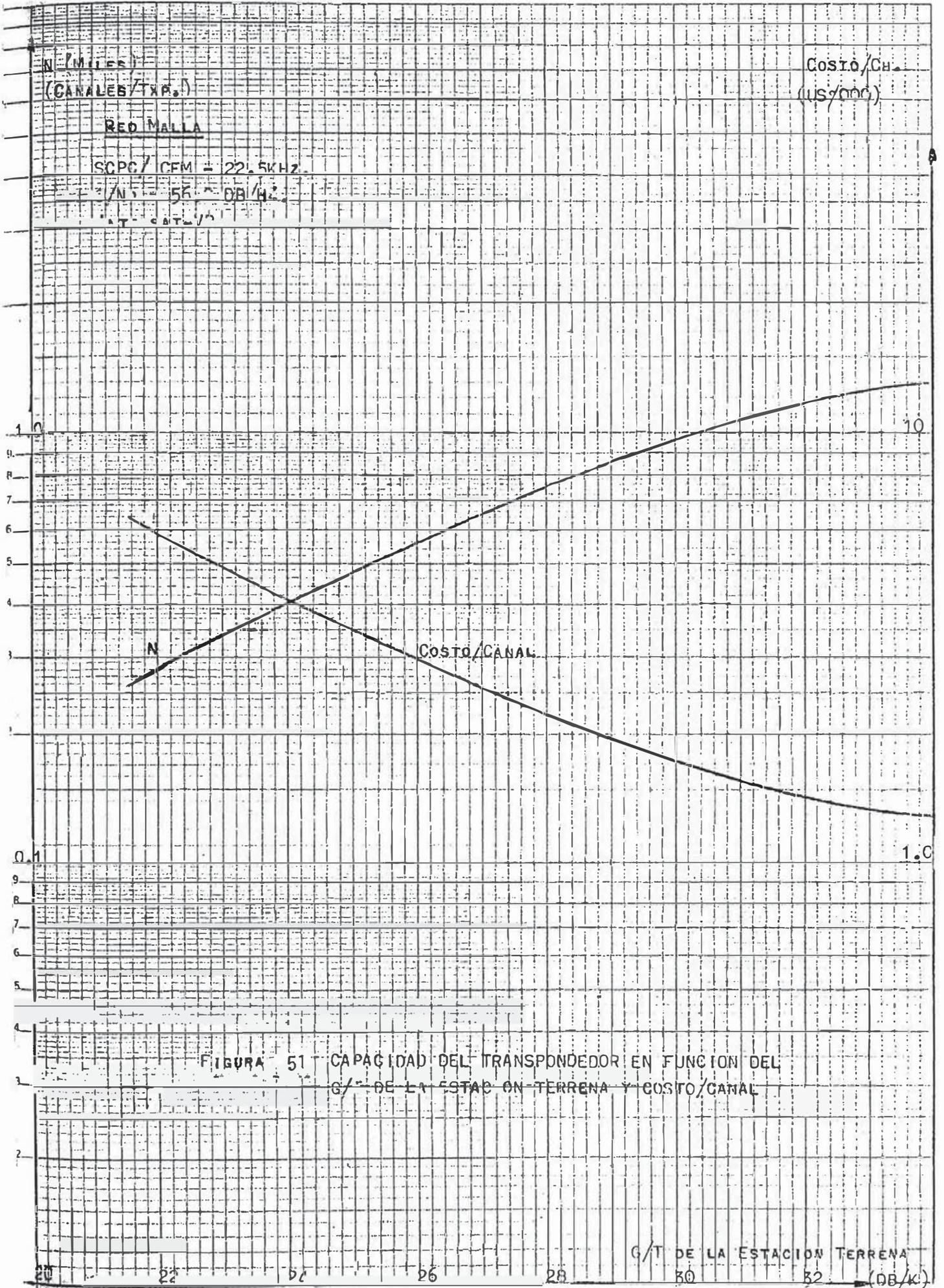
$$\text{EIRP}_d = (C/No)_d - 32.9 - G/Te$$

entonces se tiene:

$$N = 60.9 - (C/No)_d + G/Te \text{ (db)}$$

y el costo anual por canal es:

$$\text{Costo/CH} = \frac{\text{Costo transpondedor}}{N}$$



Las ecuaciones anteriores se muestran en el Gráfico 51 en función del G/T de la estación.

3.2.3 Evaluación del costo anual uniforme equivalente de los elementos de una estación terrena .-

Factores considerados:

Los requerimientos de circuitos por estación de las localidades analizadas se puede resumir en las siguientes categorías:

Ciudades medianas : Mayor de 12 CH

Ciudades chicas : Entre 6 y 12 CH

Centros poblados : Hasta 6 CH

En el Cuadro 21 se muestran los costos anualizados de operación de estaciones terrenas para estos requerimientos en función de la figura de mérito de la estación (G/T).

El factor de anualización utilizado corresponde al siguiente tipo de conversión.:

$$(a/p)_n^i = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

se asume: n = 15 años

i = 12%

(a/p) : factor de anualización de una cantidad presente.

Los datos del Cuadro 21 se muestran en el Gráfico 52 . Se observa que para 6 y 12 canales de capacidad, la estación terrena de costo óptimo de operación con el IS-VB de INTELSAT requeriría de una antena de 6 a 7.5 mts. de diámetro.

CUADRO 21

COSTOS ANALIZADOS DEL SEGMENTO TERRESTRE MAS SEGMENTO ESPACIAL
PARA ESTACIONES TERRENAS CON DIFERENTES FIGURAS DE MERITO (US\$ x 1000)

ANTENA NR CH/ESTACION	4.5 Mt. (G/T 21.9 db/9K)			6.0 M. (G/T 25.2 db/9K)			7.5 M. (G/T 28.2 db/9K)			11 Mt. (G/T = 32.7 db/9K)		
	6	12	60	6	12	60	6	12	60	6	12	60
A) EQUIP. ELECTRONICO												
1. Sistema de Antena	73.1	73.1	73.1	86.0	86.0	86.0	117.2	117.2	117.2	325.0	325.0	325.0
1.1 Sub-Sistema de Antena	16.5	16.5	16.5	28.0	28.0	28.0	45.0	45.0	45.0	200.0	200.0	200.0
1.2 Feeder (4 port)	40.0	40.0	40.0	42.0	42.0	42.0	50.0	50.0	50.0	90.0	90.0	90.0
1.3 Rastreo	16.6	16.6	16.6	16.0	16.0	16.0	18.0	18.0	18.0	35.0	35.0	35.0
2. LNA (Ga As FET) (3.7 - 4.2 GHz)	2.4 (1200K)	2.4 (1200K)	2.4 (1200K)	3.0 (1000K)	3.0 (1000K)	3.0 (1000K)	4.2 (800K)	4.2 (800K)	4.2 (800K)	14.2 (550K)	14.2 (550K)	14.2 (550K)
3. HPA (TWT)	23.0 (225 w)	29.0 (350 w)	---	12.0 (67 w)	18.0 (135 w)	40.0 (676 w)	8.0 (27 w)	12.0 (55 w)	25.0 (275 w)	4.0 (7 w)	6.0 (15 w)	14.0 (80 w)
4. EQUIP. COMUN	45.0	45.0		45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
4.1 T.F.U. (Unidad de Tiempo y frecuencia)	15.0	15.0		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
4.2 Converter (Up-Down) (AFC/AGC-P11)	30.0	30.0		30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
5. TERMINAL SCPC	46.0	82.0		46.0	82.0	300.0	46.0	82.0	380.0	46.0	82.0	300.0
5.1 CH-SCPC + Voice Process	6.0	6.0		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5.2 Misceláneas	10.0	10.0		10.0	10.0	20.0	10.0	10.0	20.0	10.0	10.0	20.0
TOTAL F.O.B.	189.5	225.5		122.0	234.0	554.0	220.4	260.4	571.4	434.2	472.2	778.2
B) INFRAESTRUCTURA CIVIL												
1. Recinto climatizado	15.0	15.0		15.0	15.0	20.0	15.0	15.0	20.0	15.0	15.0	20.0
2. Generación de energía (Gen. Diesel simple y Acumuladores) (*)	25.0	25.0		25.0	25.0	35.0	25.0	25.0	35.0	25.0	25.0	35.0
INST., TEST, RESPUES- TOS Y DOCUMENTOS - 40%	91.8	106.2		92.8	109.7	243.6	104.1	120.1	250.5	189.6	204.8	333.2
COSTO TOTAL	321.3	371.7		324.8	383.8	852.6	364.5	420.5	876.9	663.8	717.	1166.4
COSTO ANUAL SEGMENTO TERRESTRE (**)	36.0	72.0		19.8	39.6	198.0	13.2	26.4	132.0	8.4	16.8	84.0
COSTO TOTAL ANUA- LIZADO	163.5	219.5		148.6	191.9	536.3	157.8	193.2	479.9	271.8	301.3	546.8

(*) REFERENCIA: Gráfico 4.9
 (a/p) (15 años, 12%) --- 0.14682
 Costo de Operación y Mantenimiento
 anual (25% costo total) --- 0.25
 f.a. = 0.39682

FIG. 52 .- COSTO ANUALIZADO DE OPERACION PARA ESTACIONES CON 6, 12 y 60 CH DE CAPACIDAD EN FUNCION DEL G/T.

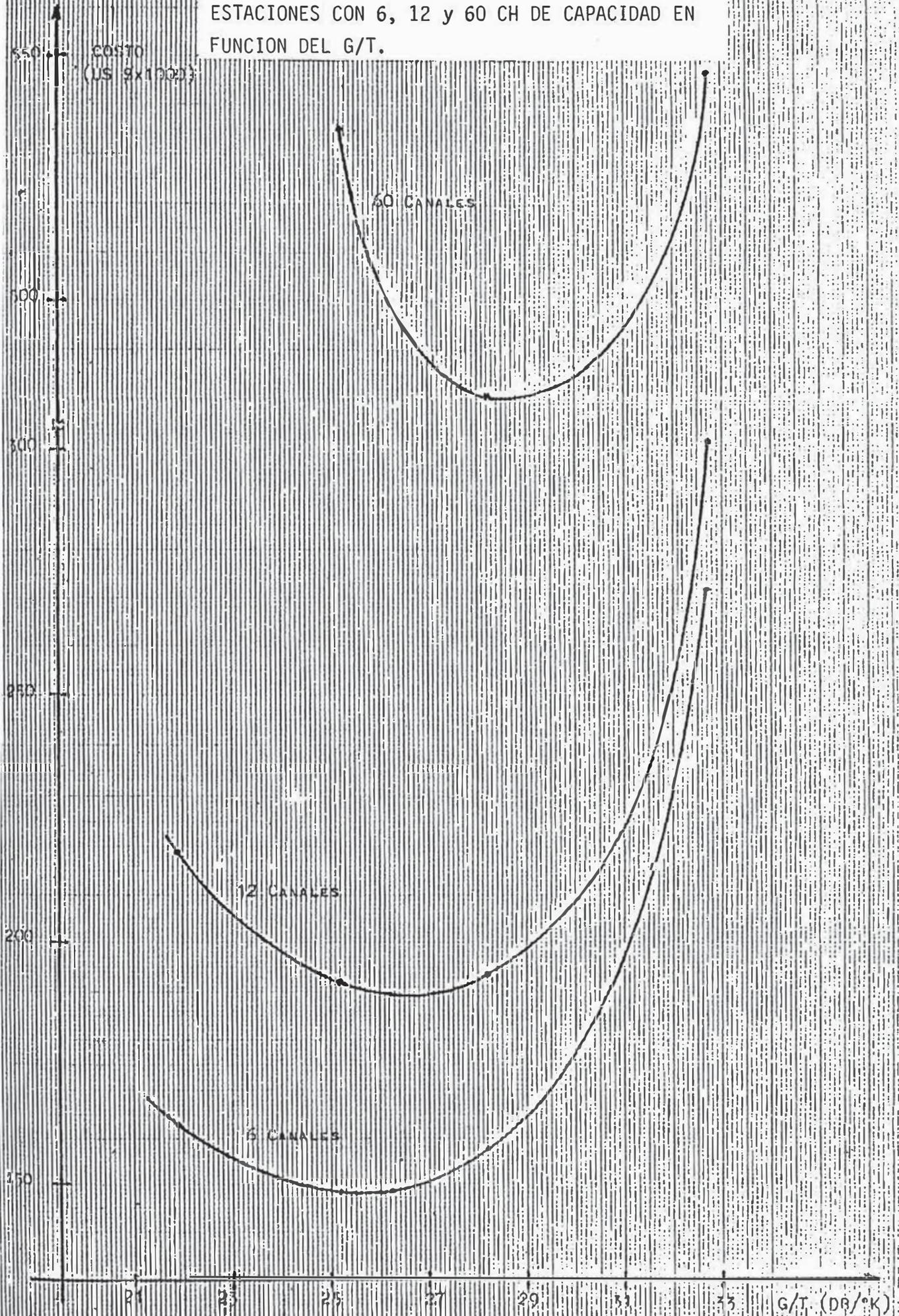
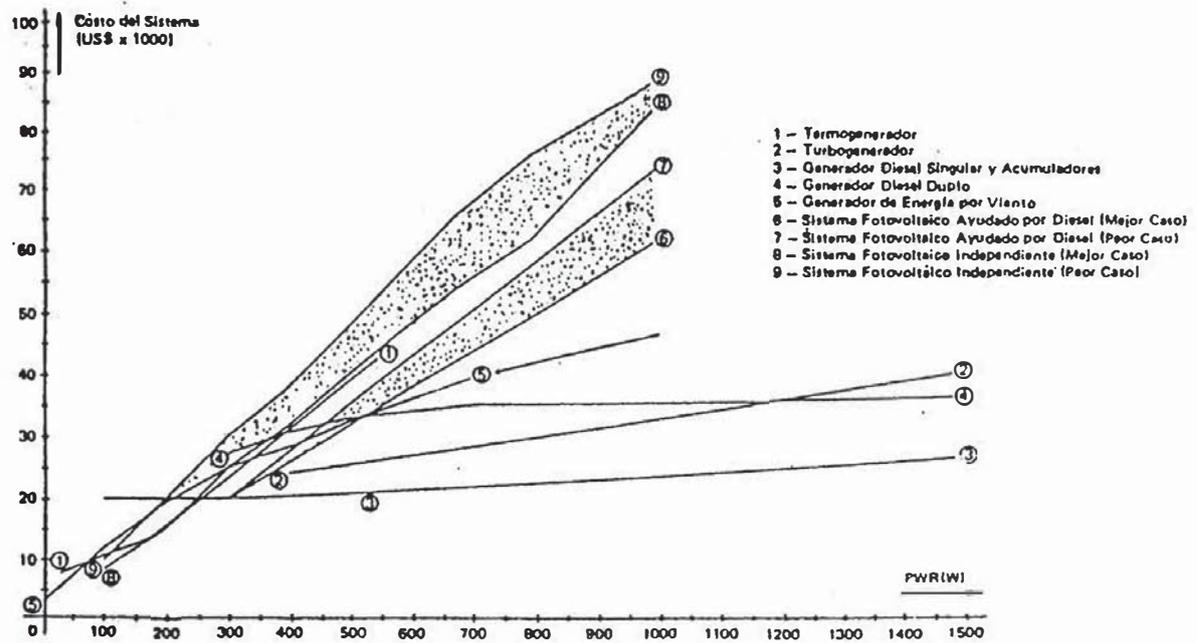
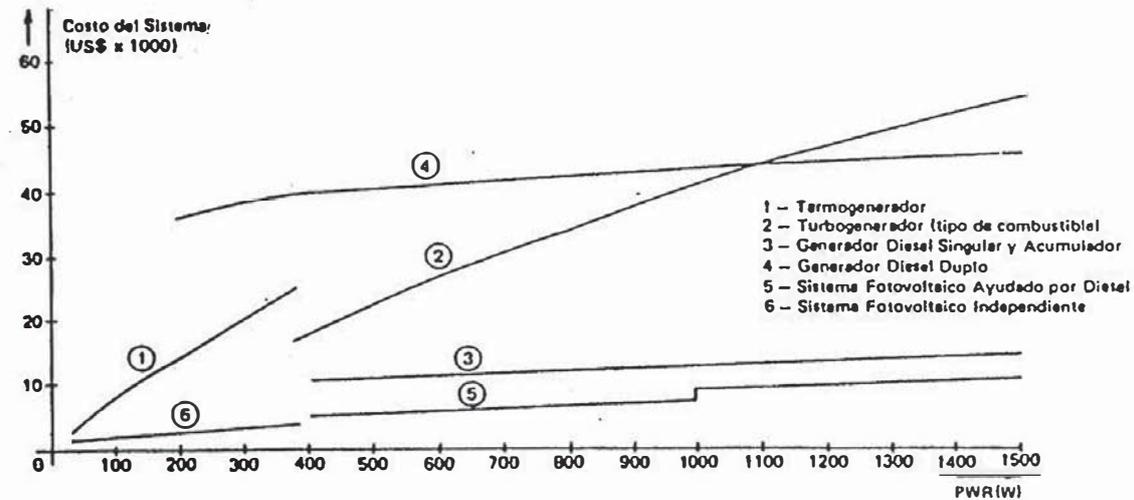


GRAFICO 53.- ESTIMACIÓN DE COSTO Y COMPARACIÓN DE LOS SUMINISTROS DE ENERGIA INDEPENDIENTE PARA LOS TERMINALES RURALES

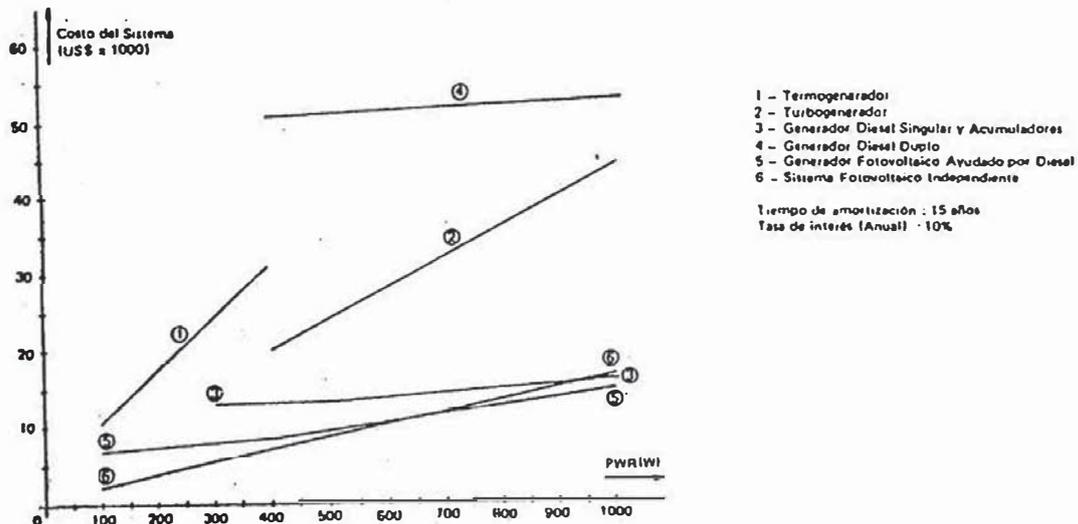
Costo Iniciales de Inversión para la Generación Inicial de Energía Primaria



Costo Anual de Operación y Mantenimiento del Suministro de Energía Primaria



Costo Anual de Suministro de Energía Primaria



4. COSTOS DE TRANSMISION DE LOS SISTEMAS DE BAJA CAPACIDAD CON EL IS-VB DE INTELSAT USANDO DAMA-SCPC/CFM Y ESTACIONES TERRENAS CON $\emptyset = 6.0$ MTS.

Las estaciones terrenas localizadas en ciudades con pequeña población manipulan una carga de tráfico relativamente baja y como el número de localidades a interconectar es grande resulta que el tráfico promedio por enlace es pequeño. En estas condiciones los sistemas de transmisión por satélite tienen una ventaja clara en la asignación por demanda.

Por tanto resulta conveniente presentar la variación del costo de los sistemas de satélite de baja capacidad en función del tráfico promedio por enlace.

El Cuadro 22 muestra los costos anuales de operación por circuito de un sistema de satélite compuesta por 30 estaciones terrenas con antenas de 6 mts. de diámetro operando con DAMA.

Los costos se presentan para diferentes valores de tráfico promedio por enlace.

5. COSTOS DE TRANSMISION DE LOS SISTEMAS DE RADIO RELEVO TERRESTRES.

Se ha determinado que desde el punto de vista técnico la mayoría de servicios pueden también asegurarse mediante sistemas de radio relevo terrestre. En tanto los costos estimados de las facilidades necesarias para este sistema dependen de muchas variables como se ha analizado en el Capítulo III.

En los siguientes Cuadros se muestran las estimaciones de costo

CUADRO 22

COSTO DE UN SISTEMA DE SATELITE CON RUTAS DE BAJO TRAFICO OPERANDO CON DAMA
SCPC/CFM Y ESTACIONES TERRENAS CON $\phi = 6$ MTS.

CONCEPTO	TRAFICO PROMEDIO POR ENLACE (ERLANGS)				
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2
. Tráfico Total (ERLANGS)	4.35	8.7	21.75	43.5	87
. Requerimiento total de segmento Espacial (Canales).	20	32	64	104	206
. Costo Total Anual del Segmento Espacial (\$ K).	68	108.8	217.6	353.6	700.4
. Unidades de canal requerido por estación.	3	4	6	8	12
. Inversión total en el segmento terrestre (\$ M).	11.02	11.28	11.78	12.28	13.29
. Costo anual del segmento terrestre (\$ M).	4.37	4.47	4.67	4.87	5.27
. Equivalencia total de Circuitos pre-asignados en el sistema.	435	465	556	708	937
. Costo anual por circuito.	40809	39387	35162	29511	25487

Nota : En el Cuadro 23 se detallan los costos de la estación terrena con antena de 6 m. de diámetro.

CUADRO Nº 23DETALLE DE COSTOS DE UNA ESTACION TERRENA USANDO SCPC/CFM

	<u>Ø = 6 mts.</u>		<u>US\$ x 1000</u>	
	NUMERO DE CANALES POR ESTACION			
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>6</u>	<u>12</u>
A. EQUIPAMIENTO ELECTRONICO				
. Antena	86.0	86.0	86.0	86.0
. LNA (100g)	3.0	3.0	3.0	3.0
. Equipo Común (Conv, TFU, etc.)	45.0	45.0	45.0	45.0
. HPA. 135 W (TWT)	18.0	18.0	18.0	18.0
* . DAMA (30% Elementos básicos)	45.6	45.6	45.6	45.6
. Terminal SCPC (VCU y Misceláneas)	16.0	22.0	46.0	82.0
TOTAL FACTORIA	210.6	216.6	240.6	276.6
B. INFRAESTRUCTURA CIVIL				
. Recinto climatizado	15.0	15.0	15.0	15.0
. Generación de energía (Gen. Diesel simple y Acumuladores)	25.0	25.0	25.0	25.0
INSTALACION TEST, REPUESTOS Y DOCUMENTOS - 40%	100.2	102.6	112.2	126.6
COSTO TOTAL	350.8	359.2	392.8	443.2
COSTO ANUAL	139.2	71.2	25.9	14.6

- * Cotización Equipamiento DAMA (US\$)
 Estación de Control - 800,000
 Equipamiento DAMA Estaciones remotas - 18,900
 hasta con 59 Modems.

CUADRO 24

SISTEMA DE RADIO DE BAJO COSTO

<u>TERMINAL DE BAJO COSTO</u> (US\$)		<u>REPETIDORA DE BAJO COSTO</u> (US\$)	
	<u>COSTO</u>		<u>COSTO</u>
A. EQUIPAMIENTO ELECTRONICO		A. EQUIPAMIENTO ELECTRONICO	
. Radio (350, 450, 900 MHz, no protegido, BB)	9,500	. 2 EQ. de radio (350. 450. 900 MHz no protegido)	19,000
. Antena (3' Grid-Parábola)	1,500	. 2 Antenas (3' Grid, Parábola)	3,000
. Guía de onda coaxial (40 mts. a \$ 30.0/m más \$ 80/conector)	1,280	. 2 Guía de onda coaxial (40 mts) a \$20/m y \$ 80/conector)	2,560
. MUX (canal + misceláneos) a 800/canal/terminal - 6 CH	4,800		
B. INFRAESTRUCTURA CIVIL		B. INFRAESTRUCTURA CIVIL	
. Caseta (terminal simple)	5,000	. Caseta repetidora	5,000
. Generación de energía (generador simple + acumulad.)	20,000	. Generación energía (generador simple + acumulad.)	20,000
. Torre (tipo UHF - 30 mts)	15,000	. Torre (tipo UHF - 30 mts.)	15,000
		. Vía de acceso para vehículo 16,000/Km	16,000
INSTALACION, TEST, REPUESTOS Y DOCUMENTOS 17%	9,703	INSTALACION, TEST, REPUESTOS Y DOCUMENTOS 40%	13,700
TOTAL TERMINAL	66,783	COSTO TOTAL	94,255

CUADRO 25

SISTEMA DE RADIO DE ALTO COSTO

<u>TERMINAL DE ALTO COSTO</u> (US \$)		<u>REPETIDORA DE ALTO COSTO</u> (US \$)	
	<u>COSTO</u>		<u>COSTO</u>
A. EQUIPAMIENTO ELECTRONICO		A. EQUIPAMIENTO ELECTRONICO	
. Radio (1+1 BB Transreceivers a 4, 6, 7 GHz)	49,000	. Radio (1+1 IF transreceptores a 4, 6, 7 GHz)	40,000
. Antena	4,500	. Antena (3 mts, parabólica)	9,000
. Guía de Onda (75 mts - \$ 32/m + \$ 200 conector)	2,600	. Guía de Onda (40 mts - 32/m + 200 conector)	2,960
. Enlace auxiliar (VHF o UHF + 3 canales + antena + coax)	14,600	. Enlace auxiliar (VHF o UHF + 3 canales + antena + coax)	14,600
. Sistema de Supervisión (Est. maestra)	20,000	. Sistema de Supervisión (Est. remota)	9,000
. HVAC	3,000	. HVAC	3,000
. MUX (\$ 800/canal/terminal- - 300 CH)	240,000	. Equipo de prueba y respuestos - 7%)	5,500
. Equipamiento de prueba (un set completo)	42,000		
. Equipo misceláneo de Mantenimiento	25,000	B. INFRAESTRUCTURA CIVIL	
. Repuestos	26,200		
B. INFRAESTRUCTURA CIVIL		. Caseta	40,000
. Local (terminal)	45,000	. Generación (Generador Diesel Duplo)	35,000
. Generación (Generador Diesel Duplo)	35,000	. Repuestos y Misceláneos - 7%)	2,450
. Repuestos y Misceláneos	3,500	. Torre (24 mt. tipo SHF)	12,500
. Torre (60 Mts tipo SHF)	45,000	. Vía de acceso para vehículo - 16,000/Km)	16,000
Instalación - 17%	94,000	Instalación - 17%	32,000
TOTAL TERMINAL	650,400	TOTAL	222,310

de dos casos extremos que se hacen en este estudio: Sistemas de bajo costo y Sistemas de Alto Costo.

El primer caso es típico para enlaces de UHF de 24 a 60 canales de capacidad inicialmente equipados con 6 canales; y el segundo caso es de un sistema de microondas (1 + 1).

Para la apreciación de los costos relacionados a brindar los mismos servicios a 30 localidades con bajo tráfico, aplicaremos el mismo criterio de presentación utilizado en los sistemas de satélite.

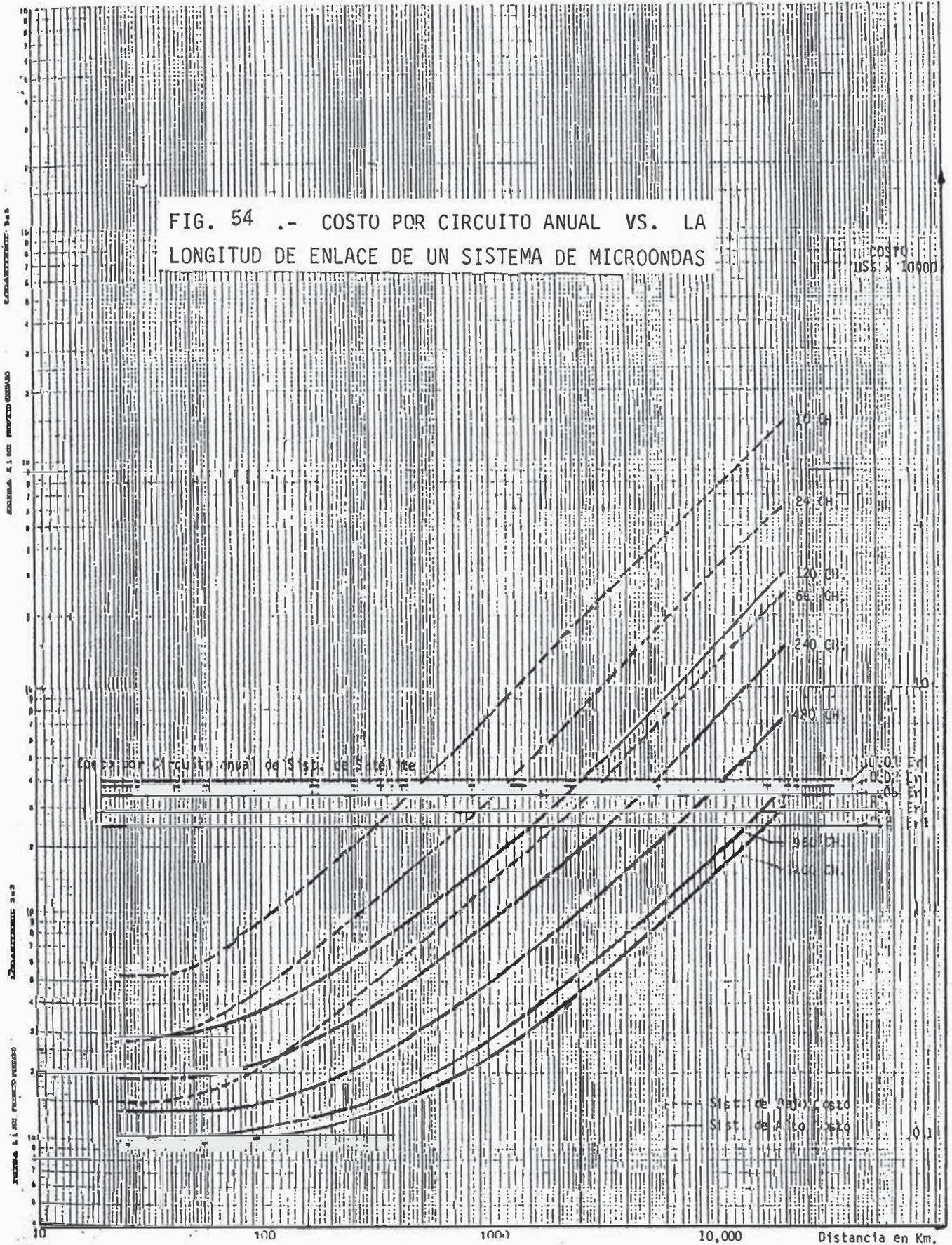
Requerimientos de un sistema de radio
Equivalente

	Tráfico promedio por enlace (Er1.)				
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2
.Tráfico total (Er1.)	4.35	8.7	21.75	43.5	87
.Circuitos requeridos por enlace.	1	1	1	2	2
.Total de circuitos requeridos.	435	465	556	708	937
.Capacidad equivalente-red anular n_{1j}	108	116	139	177	234

El precio de costo de un sistema de radio relevo terrestre es proporcional a su longitud y a su capacidad. En cuanto a las variaciones del costo con la longitud, asumiremos un enlace básico compuesto de dos terminales y una estación repetidora por cada salto de 50 Km. como promedio.

En la Fig. 54 se representan los costos anuales de los sistemas terrenales en función de la distancia para diferentes capacidades. En la misma Figura están representados los costos

FIG. 54 .- COSTO POR CIRCUITO ANUAL VS. LA LONGITUD DE ENLACE DE UN SISTEMA DE MICROONDAS



anuales de los sistemas de satélite.

6. RESULTADOS DE LA COMPARACION.

El siguiente Cuadro muestra la distancia de igual rentabilidad con los dos tipos de sistemas, determinado de las curvas de la Fig. 54

Distancia de igual rentabilidad para sistemas
de Radio Terrestres y Satélites.

	Tráfico promedio por enlace (Erl.)				
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2
Distancia Equivalente L_{eq} (Km.)	2400	2500	2600	2900	3200
Distancia mínima entre dos Estaciones Adya- centes. L (Km.)	300	320	335	374	412

El aspecto general de las curvas de la Fig. 54 indica que en el caso esquemático considerado, un enlace por satélite será relativamente ventajoso para capacidades inferiores, lo que se señala que un sistema de satélites sólo será rentable si el tráfico total que deba despachar corresponde aproximadamente a su capacidad; de no cumplirse esta condición hay que estudiar la posibilidad de que varias localidades utilicen una sola estación enlazándose mediante arterias terrenales. En estas condiciones favorables, la distancia de igual rentabilidad será de unos 300 kms. y aumentará con el número de circuitos.

Resumen:

- En el presente capítulo se han definido los principales parámetros de potencia más ventajosos desde el punto de vista del rendimiento económico para los sistemas de satélites.
- Se han determinado los parámetros de una red terrenal equivalente al sistema de satélites desde el punto de vista de la capacidad y costo.
- Se ha evaluado cuantitativamente el efecto de la agrupación de los circuitos terrenales.
- Se ha establecido una relación que permite comparar un sistema de satélites con un sistema terrenal desde el punto de vista del costo unitario por canal telefónico.

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

1. INTRODUCCION

El objetivo de la planificación de la red es optimizarla en cuanto a las condiciones de tráfico, crecimiento pronosticado, calidad total de servicio y costo.

La tecnología de satélites y estaciones terrenas han hecho posible el desarrollo de sistemas de telecomunicaciones con características propias y cualidades especiales, que los hacen muy eficientes para atender el servicio telefónico de mediano y bajo volumen de tráfico, típico de poblaciones en formación y centros de desarrollo en las áreas rurales.

En el Perú el Sistema DOMSAT iniciado hace poco, se encuentra en su primera fase de desarrollo. Las doce estaciones terrenas que conforman a la fecha el segmento terrestre sólo cubre parcialmente la región nor-oriental del país; en tanto ha quedado demostrado la independencia de esta tecnología con respecto a una infraestructura previa de red troncal, así como la facilidad de instalación, operación y mantenimiento de las estaciones terrenas.

En consecuencia, se plantea la necesidad de establecer un programa apropiado de implementación progresiva, y apropiado de estaciones terrenas para atender las necesidades de telecomunicaciones en el país.

2. REVISION DE LOS MEDIOS DE TRANSMISION DE LARGA DISTANCIA EN OPERACION Y PROYECTADOS

En este punto se muestra una revisión general de las interconexiones telefónicas de larga distancia en operación y proyectadas en los planes de desarrollo nacional de telecomunicaciones de ENTEL PERU, con el objeto de identificar las necesidades prioritarias de telecomunicaciones en todos los departamentos del país y presentar una alternativa óptima para la atención de estos requerimientos.

En la elaboración de los diagramas mostrados en el Anexo 1 se ha utilizado la siguiente información:

- . El mapa de enrutamiento actual de la red de larga distancia (Gerencia de Larga Distancia).
- . Estudios del proyecto de microondas del Nor-oriente,
- . Estudios para la red de microondas NEC
- . Estudios para la red de microondas GEC
- . Redes proyectadas por el PCR y Planificación
- . Redes secundarias proyectadas por la Gerencia Larga Distancia
- . Estudios del Proyecto Piloto Servicio de Comunicaciones Rurales
- ENTEL AID-
- . Estudios para la red de microondas entre Quillabamba y Cusco.
- . Estudios de campo realizados en algunas Administraciones.
- . Enlaces adicionales basados en estudios de cartas geográficas.

3. SELECCION DE LAS LOCALIDADES PARA SER ATENDIDAS POR ESTACIONES TERRENAS

En el presente trabajo se ha estudiado los medios de transmisión proyectados o en operación de todas las localidades comprendidas en los planes de desarrollo de ENTEL PERU y de las localidades que actualmente cuentan con servicio deficiente por falta de capacidad y/o utilización de sistemas inadecuados. También se ha tenido en cuenta las localidades que alcanzaban los 4,000 habitantes según Censo de 1981 y que no figuran en los proyectos de ENTEL.

Como resultado de este estudio se ha seleccionado algunas localidades para ser atendidas por estaciones terrenas combinadas con radio enlaces terrestres, poniendo la debida atención a combinar los siguientes criterios de principio:

- a) Considerar las recomendaciones del CCITT y CCIR para homogenizar las características de transmisión de las interconexiones por medios diferentes.
- b) Utilización de las facilidades que ofrecen las redes de telecomunicaciones de larga distancia existentes.
- c) Utilización de las facilidades que ofrecen los proyectos contenidos en los planes de desarrollo de telecomunicaciones en el país.

- d) Utilización de los resultados de la comparación de costos del Capítulo II, con el objeto de determinar muy cuidadosamente las condiciones en que el sistema de satélite sería económicamente factible.
- e) Aplicación de los demás factores que impliquen una mejora en la calidad del servicio y la reducción de costos de operación y mantenimiento.

En el Cuadro -1 se muestra la relación de localidades para ser atendidas por enlace de satélite, seleccionadas en base a los criterios señalados, así como también los requerimientos de circuitos y su distribución a 1985.

En el Anexo 2 se muestran los resultados de la proyección de la demanda telefónica de estas localidades así como también de las localidades que pueden ser enlazadas a estas estaciones a través de sistemas de radio UHF/VHF o líneas abiertas, basado en la tendencia mundial y el ingreso per-cápita analizado en el Capítulo I .

Estos requerimientos y los enlaces previstos deben ser comprobados en el campo mediante:

- Un conocimiento adecuado de las características geográficas y climáticas de las localidades en estudio complementada por los aspectos socio-económicos actuales y sus perspectivas de desarrollo.
- Reconocimiento de las instalaciones y medios de transmisión existentes, evaluación de los mismos y por consiguiente su posible grado de utilización ya sea localmente o reubicándolos.

- Confirmación de la viabilidad de utilización de los sitios predeterminados como estaciones de radio relevo.

En los ANEXOS 3 Y 4 se muestra la distribución de tráfico y los requerimientos de circuitos respectivamente de estas localidades, aplicando los métodos analizados, en el Capítulo I y en el ANEXO- 5 se muestra el resumen de los requerimientos de circuitos, con los centros secundarios.

CUADRO - 1 - REQUERIMIENTO TOTAL DE CIRCUITOS Y SU DISTRIBUCION.

AÑO - 1985

	TRUJ	CHIC	CHIM	PIUR	AREQ	CUZC	JULIA	TACN	CPT	HYG	HNCO	ICA	PCLL	LENT	IGTS	TARA	TOTAL
1- CHIVAY					2CH	1CH	1CH	1CH	1CH								6CH
2- COTAHUASI					1CH				1CH								2CH
3- PUGUIO					1CH				3CH	1CH		2CH		1CH			8CH
4- CASTROVIRREYNA									1CH			1CH					2CH
5- CHOTA	2CH	3CH	1CH	2CH					4CH								12CH
6- JAEN	6CH	10CH	2CH	5CH					14CH								37CH
7- S. IGNACIO	1CH	1CH		1CH					2CH								5CH
8- CHALHUANCA					1CH	1CH	1CH		1CH								4CH
9- CHUGUIBAMBILLA					1CH	1CH			1CH								3CH
10-IBERIA					1CH	1CH			1CH								3CH
11-PTO. MALDONADO					3CH	5CH			7CH								17CH
12-HUAMACHUCO	2CH	1CH	1CH	1CH					3CH								8CH
13-BOLIVAR	1CH	1CH							1CH								3CH
14-TAYABAMBA	1CH	1CH	1CH	1CH					2CH								6CH
15-HUANCAPI									2CH	2CH	1CH						5CH
16-SATIPO									3CH	2CH	1CH	1CH					7CH
17-PICHANACUI									2CH	2CH							4CH
18-AYNA									2CH	2CH							4CH
19-REQUENA									3CH				1CH		1CH	1CH	6CH
20-BORJA									1CH						1CH		2CH
21-PANTOJA									1CH						1CH		2CH
22-STA. CLOTILDE									2CH				1CH		1CH		4CH
23-PEBAS									2CH				1CH		1CH	1CH	5CH
24-LA UNION									3CH	1CH	2CH		1CH				7CH
25-PTO. INCA									1CH	1CH	1CH						3CH
26-PTO. BERMUDEZ									2CH	1CH	1CH		1CH				5CH
27-LAGUNAS	1CH								1CH						1CH	1CH	4CH
28-SANDIA					2CH	1CH	2CH	1CH	2CH								8CH
29-MACUSANI					1CH	1CH	1CH		1CH								4CH
30-ESPERANZA									1CH						1CH		2CH
31-ATALAYA									2CH		1CH		1CH		1CH		5CH
TOTAL	14CH	17CH	5CH	10CH	13CH	11CH	7CH	2CH	73CH	12CH	7CH	4CH	6CH	1CH	8CH	3CH	193CH
	/ 46CH C.S. TRUJILLO		/ 33CH C.S. AREQUIPA					/ 103CH C.S. CPT. LIMA									

4. PROGRAMA DE AMPLIACION

4.1 Introducción

Para el programa de ampliación de la red del Sistema DOMSAT se precisa establecer una estrategia de implementación en función a los recursos disponibles. Los aspectos que se deben considerar incluyen entre otros:

- . Demandas de servicio no satisfechas y su distribución geográfica.
- . Ubicación y tipos de equipos que más precisan reemplazarse debido a su antigüedad y altos costos de mantenimiento
- . Incidencias de sobrecargas de tráfico en partes de la red.
- . Necesidad de proveer un servicio telefónico que no esté basado únicamente en razones económicas (por ejemplo, en áreas rurales o por razones de administración y seguridad nacional).
- . Capacidad para devengar ingresos con otras inversiones.
- . Los recursos financieros y de otro tipo disponibles

4.2 Plan de Implementación

Con el propósito de establecer un Plan de Implementación para el programa de ampliación de la red del Sistema DOMSAT se tendrán en cuenta dos factores que en nuestro concepto son determinantes en la adopción de una estrategia óptima:

- a) Disponibilidad de recursos de Segmento Espacial
 - a.1) La decisión de INTELSAT de optimizar los satélites IS -VB (VB modifica.) para permitir cursar servicios nacionales a Sud-América desde la posición orbital de 307° Longitud Este.

Con esta modificación varios países sudamericanos tendrían acceso a un total equivalente de 10 transpondedores de 36 MHz, cada uno con un P.I.R.E. de 33 dbW o más mediante haces pincel de la banda C. A PARTIR DE 1987.

- a.2) La decisión de PANAMSAT de prestar servicios domésticos a Sud-América a través de un satélite específicamente diseñado para servicios nacionales A PARTIR DE 1987.
- b) Disponibilidad de recursos financieros.
 - b.1) La inversión inicial en los sistemas de satélites es bastante alta.
 - b.2) La tendencia de disminución de los costos de los sistemas de satélites.

Como resultado de considerar estos y otros factores, es evidente que se debe establecer un orden de prioridades para que el programa de ampliación de la red del Sistema DOMSAT que comprende un total de aproximadamente 31 estaciones terrenas ubicadas en todo el país se divida en dos etapas.

La selección de las comunidades para cada una de las etapas obedece a los siguientes criterios, entre otros:

Primera Etapa

- Atender las comunidades donde las necesidades y ventajas sean máximas
- La necesidad de complementar otros programas
- Facilidad de contar con una infraestructura de telecomunicaciones (redes de transmisión, centrales, energía).

Segunda Etapa

En la segunda etapa se atenderán las demás localidades y otras que sean técnico-económicas viables de ser atendidas por enlace de satélite.

En LOS ANEXOS 6 Y 7 se muestran los requerimientos de circuitos y su distribución hacia los centros de mayor orden de las localidades consideradas en la primera y segunda fase respectivamente.

5.- ALTERNATIVA DE CONFIGURACION DE LA RED DOMSAT PARA EL PROGRAMA DE AMPLIACION.

Para satisfacer el tráfico generado de las estaciones programadas existen dos soluciones convenientes basadas en la distribución de tráfico determinado a través del estudio descrito anteriormente:

- 1) Ampliar la capacidad de la Estación de Lurín - 2
- 2) Instalar una estación sub master en Trujillo y Arequipa, que son puntos terminales de los sistemas troncales de radio enlace de alta capacidad.

La configuración de la red del Sistema DOMSAT podría adoptar en primera instancia una de las dos modalidades ampliamente conocidas: red estrella o red malla.

Para una red con un número reducido de centros a interconectar puede ser una de tales alternativas la más aconsejable dependiendo la elección a grosso modo de los volúmenes de tráfico y su

distribución; es sensato pensar por ejemplo, que ante volúmenes bajos de tráfico ofrecido entre los diferentes centros, una configuración de red en estrella se presenta como la más conveniente. Es claro, sin embargo, que este par de alternativas son soluciones extremas y que tan sólo para estrechos rangos de las cifras de la matriz de tráfico ofrecido, matriz de costos y número de centros a interconectar pueden constituirse en las configuraciones adecuadas.

Surge entonces la opción de combinar las características de una y otra configuración para dar lugar a una red malla-estrella. La ventaja más importante de este tipo de red es la de permitir un enrutamiento alternativo.

Por tanto, considerando el volumen de tráfico estimado, su distribución, el número de centros a interconectar y la infraestructura actual del DOMSAT, se resuelve adoptar una red estrella-malla que permitirá:

1. Establecer circuitos de contingencia entre los centros secundarios.
2. Descongestionar el tráfico en partes de la red.
3. Mayor grado y calidad de servicio debido al uso de menos tramos de la red para el establecimiento de una comunicación.

La configuración de integración prevista en función del volumen de tráfico estimado se muestra en los siguientes gráficos:

La Fig. — 1 muestra la red de microondas en operación y la red nor-oriente de microondas proyectada y el Cuadro — 2, las características de la red DOMSAT actual.

Las Figs. — 2 y — 3 muestran la configuración planteada para la primera y segunda fase, respectivamente, del programa de ampliación del sistema DOMSAT.

La configuración prevista comprende:

- . Una estación sub-master en Trujillo
- . Una estación sub-master en Arequipa o la implementación de la Red de microondas entre Cusco y la Estación Terrena de Quillabamba para el uso de esta estación como sub-master.
- . En la primera etapa se considera estaciones con antenas de 7 a 7.5 mts. de diámetro y en la segunda etapa estaciones con antenas de 4 a 6 mts. de diámetro. Todas estas estaciones equipadas para SCPC-CFM-DAMA y previstas para localizaciones en áreas rurales sin infraestructura apropiada (*).

Teniendo en cuenta el volumen de tráfico estimado y los resultados obtenidos en la evaluación de costos y a fin de reducir los requerimientos de segmento espacial, se plantea utilizar el sistema D.A.M.A. en la ampliación del sistema doméstico. En cuanto a los sistemas auxiliares tales como energía, climatización, sugerimos lo siguiente:

Climatización.- Uso de un sistema de tipo pasivo para compartimiento de los equipos de comunicación.

Energía.- Se espera que usando construcciones con auto-climatización de alcance ampliado, la demanda total de carga continua de energía puede ser mantenida dentro de los límites entre 700 a 1000 w. incluyendo cargas de instalación de radios convergentes. Un sistema foto-voltaico ayudado por un generador Diesel pequeño del orden de 8 a 10 KVA, aparece en el momento como el enfoque más atractivo para suministrar energía a estas estaciones

- (*) Jaen y Puerto Maldonado, Estaciones terrenas con antenas de 7.5 mts. de diámetro como mínimo.

CONCLUSIONES

1. Cuando uno contempla los trágicos perfiles que definen el grado de miseria e incomunicación del Sistema Rural del país, no se puede menos que considerar que la integración es un factor no solamente necesario sino de primera prioridad.
2. La metodología planteada para estimar la demanda telefónica trata fundamentalmente de satisfacer la demanda previsible en funciones de las variables siguientes: población e ingreso per-cápita, y proyectados de acuerdo a la tendencia mundial. Los resultados pueden ser tomados como guía para adoptar límites apropiados.
3. El sistema DOMSAT por su tecnología se muestra muy aplicable para atender las necesidades de telecomunicaciones de las áreas rurales en el Perú, aún cuando el satélite IS-VB modificado de INTELSAT ofrece una pequeña mejoría en el rendimiento respecto a los actuales satélites en operación de la Serie V, y las estaciones terrenas diseñadas para acceso a la red de INTELSAT sean muy complejas, de mayor tamaño y más costosas.
4. Los resultados de la comparación económica sirven para establecer las condiciones iniciales de selección de sistemas dentro del marco económico, sin embargo se sabe que la elección entre distintos sistemas de transmisión no viene siempre determinada por el óptimo económico y que debe también tenerse en cuenta otros factores.
5. La configuración primaria del sistema planteado consistente en

una red malla-estrella combinada ofrece las mejores características en cuanto a la calidad-operación de la red y también permite una mejor utilización de la infraestructura existente.

Referencias:

- . Sistemas Radiovisibilidate
Gilberto Silva o Barradas
EMBRATEL
- . Rural Communication Planning
Methodology for Integrating Satellite and Terrestrial Facilities
By: Ranjana Garg Sharma
Communication Satellite Planning Center
Stanford University
- . Sistemas Analógico-Digitais
Marcallo P. Ribeiro
EMBRATEL
- . Earth Station Technology
INTELSAT - Washington
- . Satellite Communications Engineering
K. Miya
Tokyo
- . Digital Communications By Satellite
Vijay K. Bhargava
A Wiley Intercience Publication
- . Transmission Cost Comparison for Satellite, Fiber Optics and
Microwave Radio Communications
Future Systems Incorporated
- . Satellite Systems of the U.S. Domestic Communication Carriers
Future Systems Incorporated
- . Documentos diversos de INTELSAT
Washington.
- . Transmisión de Telefonía Vía Satélite
(Problemas y Soluciones)
Hay Armen Boyadjian
- . Principles or Telecommunication Traffic Engineering
IEE TELECOMMUNICATIONS SERIES 2
D. BEAR