



**PLANEACION DE UN ENLACE EXPERIMENTAL
VÍA SATÉLITE, PARA LA TRANSMISIÓN
DE VOZ Y DATOS ENTRE EL
IIE (CUERNAVACA) - CICESE (ENSENADA).**

Facultad de Ingeniería

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA)**

PRESENTA:

JOSÉ ANGEL LEE NIEBLA

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. RODOLFO NERI VELA**

CIUDAD DE MEXICO, MAYO DE 1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

D E D I C A T O R I A S

IN MEMORIAM

A LA MEMORIA DE MI PADRE

FRANCISCO LEE GARCÍA

Y DE MI SOBRINO

ERNESTO MORALES LEE

A MI MADRE MANUELA, POR SU CARIÑO, SU CONFIANZA, Y LA
LIBERTAD PARA OBTENER UNA EDUCACIÓN SÓLIDA, MI MÁS
INFINITO AGRADECIMIENTO,

A MIS HERMANOS NANCY Y FRANCISCO, POR SU APOYO
FAMILIAR, SIN EL CUAL, NO HUBIERA SIDO POSIBLE LOGRAR
MIS OBJETIVOS,

A MI HERMANA SOCORRO Y ALVARO, POR SU SOPORTE
ECONÓMICO Y LA DISCIPLINA EXIGIDA, DURANTE MIS ESTUDIOS
PROFESIONALES,

A MI ESPOSA ROCÍO, POR EL EXCELENTE TRABAJO DE
MECANOGRAFÍA EFECTUADO EN ESTA TESIS Y POR SU ESTÍMULO PARA
LA CONCLUSIÓN DE ESTE PROYECTO , CON MUCHO AMOR,

A MIS HIJOS JOSÉ GORKI, ALAN IGOR E IVÁN, COMO UN
EJEMPLO DE PERSEVERANCIA,

A MIS AMIGOS UNIVERSITARIOS, POR EL INTERCAMBIO DE
IDEAS,

A G R A D E C I M I E N T O S

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, POR MI FORMACIÓN PROFESIONAL INTEGRAL,

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA, POR SUS EXCELENTES MAESTROS Y POR SUS ESFUERZOS POR LA EXCELENCIA ACADÉMICA,

AL DR. RODOLFO NERI VELA, POR SU ORIENTACIÓN EN LA INGENIERÍA DE SATELITES Y EL PRIVILEGIO DE HABER SIDO SU COLABORADOR DURANTE VARIOS AÑOS,

AL M.C. SALVADOR LANDEROS AYALA, POR LA OPORTUNIDAD DE PARTICIPAR EN EL SISTEMA DE SATÉLITES MORELOS,

AL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS, POR LA CAPACITACIÓN Y APLICACIONES EN INGENIERIA ELÉCTRICA,

A TELECOMUNICACIONES DE MÉXICO, POR PARTICIPAR EN LOS GRANDES PROYECTOS ESPACIALES DE MÉXICO,

AL CENTRO DE CONTROL DE SATÉLITES, POR LA EXPERIENCIA ADQUIRIDA.

INDICE

	Pag.
Introducción.	1
Capítulo 1. Definición del enlace experimental	6
1.0 Antecedentes.	7
1.1 Satélites INTELSAT rentables en la región del Atlántico.	10
1.2 Sistema de Satélites Morelos.	11
1.3 Técnicas y aplicaciones del acceso Múltiple.	12
1.3.1 Acceso Múltiple por división en la frecuencia (FDMA).	14
1.3.1.1 Técnica SCPC.	17
1.3.2 Acceso Múltiple por división en el tiempo (TDMA).	21
1.4 Comparación técnica entre SCPC Y TDMA.	23
1.4.1 Técnica SCPC.	23
1.4.2 Técnica TDMA.	25
1.5 Técnicas de modulación digitales.	27
1.6 Metodología de planeación e Ingeniería del enlace experimental.	30
Capítulo 2. Diseño del Sistema de Transmisión.	32
2.0 Introducción.	33
2.1 Cálculo geométrico para los ángulos de elevación de las estaciones terrenas.	35
2.2 Ecuaciones de diseño de transmisión.	39
2.2.1 Trayectoria de subida.	39
2.2.2 Segmento espacial.	44
2.2.3 Trayectoria de bajada.	45
2.2.4 Relación total portadora/ruido.	47
2.3 Cálculo del enlace.	48
2.3.1 Relación portadora/ruido (C/N).	48
2.3.2 Cálculo de la figura de mérito (G/T).	49

2.3.3	Cálculo de la ganancia y diámetro de la antena.	54
2.3.4	Cálculo de la potencia del transmisor (P_t).	57
2.4	Diagrama de bloques del programa de computadora para el cálculo de enlaces vía satélite.	61
Capítulo 3.	Arquitectura del sistema y aplicaciones.	64
3.0	Introducción.	65
3.1	Arquitectura del sistema.	66
3.2	Configuración preliminar del sistema de transmisión.	67
3.3	Configuraciones típicas de los subsistemas de las estaciones terrenas IIE-CICESE.	71
3.3.1	Subsistema de antena y alimentador.	71
3.3.2	Subsistema de amplificador de potencia (LPA).	74
3.3.3	Subsistema de preamplificador de bajo ruido.	76
3.3.4	Subsistemas SCPC y de banda base.	78
3.3.4.1	Subsistema de convertor de subida de frecuencia.	83
3.3.4.2	Subsistema de convertor de bajada de frecuencia.	86
3.3.5	Subsistema de control de reloj.	88
3.3.6	Equipo de soporte.	91
Capítulo 4.	Especificaciones técnicas para el sistema de estaciones terrenas IIE-CICESE.	92
4.0	Introducción.	93
4.1	Criterios para el diseño del sistema.	93
4.2	Tipo de satélite empleado.	94
4.3	Configuración de las estaciones terrenas.	95
4.3.1	Subsistema de antena (transmisión/recepción).	95
4.3.2	Amplificadores de potencia.	97
4.3.3	Preamplificadores de bajo ruido.	98
4.3.4	Terminal SCPC/PSK.	98
4.3.5	Subsistema de banda base.	99

4.3.5.1	Interfase a nivel de voz.	99
4.3.5.2	Interfase a nivel de datos.	100
4.4	Convertidor de señalización.	100
4.4.1	Generales.	100
4.4.2	Configuración.	100
4.4.3	Especificaciones.	100
Capítulo 5.	Criterios para la evaluación de propuestas de proveedores de equipo.	101
5.0	Introducción.	102
5.1	Comentarios generales.	102
5.2	Aspectos generales a analizar en las propuestas.	103
5.3	Aspectos detallados a analizar en las propuestas, por componente.	105
5.3.1	Antenas.	106
5.3.2	Amplificadores de potencia.	108
5.3.3	Preamplificadores de bajo ruido.	110
5.3.4	Convertidores de frecuencia (Mezcladores).	113
5.3.4.1	Convertidor de bajada.	113
5.3.4.2	Convertidor de subida.	113
5.3.5	Tarjetas SCPC.	114
Conclusiones.		115
Referencias.		118
Anexo I.	Datos de diseño del satélite INTELSAT IV y restricciones impuestas al sistema de transmisión por INTELSAT.	125
Anexo II.	Programas y resultados por computadora de los ángulos de elevación y parámetros de diseño para la especificación preliminar de las estaciones terrenas del IIE y CICESE.	129
Anexo III.	Cálculo de la temperatura del sistema.	130

ANEXO IV. Sistema de Satélites Mexicanos.	156
ANEXO V. Implementación de un enlace experimental de transmisión de datos en la modalidad SCPC DIGITAL/FDMA en el laboratorio de Comunicaciones Espaciales del Centro de Control de Satélites.	166

I N T R O D U C C I O N

La ciencia espacial ha logrado en relativamente corto tiempo (a partir de la Segunda Guerra Mundial), un gran desarrollo en lo concerniente a los satélites de telecomunicaciones. Este desarrollo fue consecuencia de la integración de varias disciplinas, tales como la aeronáutica, electrónica, tecnología de antenas, estudios e investigaciones experimentales en la radio propagación a las frecuencias de microondas, así como la expedición de informes técnicos y recomendaciones sobre la normalización del uso de los satélites de comunicaciones por parte de Organismos Internacionales como el CCIR, CCITT, INTELSAT, etc.. Los avances técnicos en el procesamiento digital de señales, así como el desarrollo experimental de técnicas de modulación digital multi-niveles y las matemáticas de la mecánica celeste, la investigación y producción de materiales y equipo electrónicos con un tiempo de vida nominal de 9 años en las condiciones ambientales espaciales (como es el caso de las celdas solares y componentes semiconductores), el progreso en circuitos integrados de microondas, el desarrollo en la tecnología GaAsFET, la producción de circuitos digitales con integración a muy grande escala, el desarrollo en la tecnología de los alimentadores tipo corneta para la formación de haces de iluminación tipo pincel de las antenas de los

satélites, el desarrollo de algoritmos con aplicaciones para redes con cobertura celular, el uso de polarizaciones ortogonales en las antenas parabólicas para optimar el espectro de radio-frecuencia mediante el re-uso de frecuencias, la instrumentación sofisticada y especializada, han sido otros de los factores que han originado (en función de las necesidades concretas de los usuarios), el diseño, construcción, tecnología de lanzamiento, puesta en órbita y puesta en operación de los satélites de comunicaciones con aplicaciones militares, comerciales, industriales, científicas y educativas.

El progreso existente en el campo de la comunicación electrónica, tiene su máxima expresión en la tecnología de Fibras Ópticas, Radio Digital, y en la tecnología de los Satélites de Telecomunicaciones.

Existe una vasta literatura concerniente al tópico de los satélites de comunicaciones, de tal manera, que es un reto para el profesional especializado en comunicaciones espaciales, mantenerse actualizado debido a la gran cantidad de información disponible en revistas especializadas, memorias de congresos y conferencias, seminarios técnicos, etc.

México, haciendo un gran esfuerzo en el ámbito económico-político-social, se actualiza en la tecnología de los satélites de comunicaciones en el proyecto tecnológico denominado Sistema de Satélites Morelos, consistiendo de la puesta en servicio (para 1985) de dos satélites de comunicaciones con aplicaciones domésticas, cuyos servicios de telecomunicaciones serán principalmente la transmisión de señales de TV, telefonía, y transmisión de datos de diferentes velocidades.

El trabajo desarrollado en esta tesis, es básicamente un estudio de sistemas, que comprende el diseño de un enlace y las especificaciones técnicas de dos estaciones terrenas para el Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (IIE-CICESE).

En el capítulo 1, se desarrolla la definición del enlace experimental, comprendiendo la localización de los satélites INTELSAT rentables en la región del Atlántico, se presentan algunos datos relativos al Sistema de Satélites Morelos, se especifica la técnica de acceso múltiple, se elige la técnica de modulación de radio-frecuencia y se presenta la metodología para el proceso de planeación e ingeniería del enlace experimental.

En el capítulo 2, se desarrolla el diseño del sistema de transmisión, comprendiendo el cálculo geométrico para los ángulos de elevación de las estaciones terrenas, las ecuaciones de diseño de transmisión, el cálculo del enlace, y el diagrama de bloques del programa de computadora para el cálculo de enlaces vía satélite.

El capítulo 3, consiste en el estudio de la arquitectura del sistema y sus aplicaciones, analizando la configuración preliminar del sistema de transmisión y las configuraciones típicas de los subsistemas de RF, FI y equipo SCPC, así como los diversos procesos de las señales en banda base.

En el capítulo 4, se presentan las especificaciones técnicas para adquirir el equipo del sistema de estaciones terrenas IIE-CICESE.

El capítulo 5, comprende los criterios técnicos para la evaluación de las propuestas de proveedores de equipo.

Se incluye, además, lo referente a las conclusiones y referencias bibliográficas.

Por último, se incorporan cinco Anexos con información referente a datos de diseño del Satélite INTELSAT IV y restricciones técnicas impuestas al sistema de transmisión por INTELSAT ; se proporciona el programa fuente y los resultados por computadora de los ángulos de elevación y parámetros de transmisión , para la especificación preliminar de las estaciones terrenas IIE y CICESE ; se desarrolla el cálculo de la temperatura de ruido del sistema de recepción y finalmente, con propósitos de actualización de este trabajo de tesis , se proporcionan las características técnicas más relevantes del Sistema de Satélites Mexicanos , y se desarrolla la implementación de un enlace experimental vía satélite , para la transmisión de datos en la modalidad de transmisión SCPC/QPSK/FDMA con portadoras de 64 kb/s y FEC $\frac{1}{2}$ en el laboratorio de comunicaciones espaciales del Centro Primario de Control de Satélites , perteneciente a Telecomunicaciones de México.

CAPITULO 1.- DEFINICION DEL ENLACE EXPERIMENTAL.

1.0 ANTECEDENTES.

En el mes de Enero de 1982, personal del IIE efectuó una entrevista con el personal de Telecomunicaciones del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) para discutir la posibilidad de instalar un enlace experimental para transmisión de datos y voz entre dicho Centro de Investigación y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ubicados en Ensenada, B.C. y Cuernavaca, Morelos, respectivamente. Uno de los puntos más delicados del proyecto consistió en decidir qué satélite alumbraría ventajosamente a ambas estaciones. Sin embargo, personal de Telecomunicaciones del CICESE contactó a la Compañía Western Union (Institución Norteamericana) para solicitar información respecto a la renta de espacio, en aquel entonces, en el satélite WESTAR III. Esta Compañía hizo notar que ambos interesados deberían coordinarse con la Dirección General de Telecomunicaciones (DGT) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México para utilizar parte del transpondedor que ésta rentaba del WESTAR III. Actualmente, la SCT ya no utiliza el WESTAR III sino el GALAXY 1. Por lo que respecta al IIE, le convenía utilizar mejor el INTELSAT IV, ya que este satélite sería el empleado por la Comisión Federal de Electricidad, en particular por el Centro Nacional de Control de Energía, y le permitiría realizar pruebas experimentales con sus Centros de Control y Estaciones Terrenas Periféricas. Actualmente, esta situación también ha cambiado ya que el proyecto de CFE se pospuso y de reiniciarse ya no sería empleando

el INTELSAT IV sino el Sistema Morelos. Sin embargo, dado que este trabajo de tesis se desarrolló durante el período en que se pensaba utilizar el Intelsat IV, los resultados aquí plasmados corresponden a dicha situación, y el mismo tipo de criterios técnicos podrán ser aplicados a cualquier otro sistema de satélites considerando sus propiedades individuales. Con estas premisas, se requeriría coordinar esfuerzos en los siguientes aspectos:

- a) Que los dos Centros de Investigación adquirieran el equipo de comunicaciones necesario para la realización de la transmisión y recepción tanto de voz como de datos.
- b) Que ambos Centros intercambien conocimientos de información tecnológica con el objeto de agilizar la realización de los experimentos.
- c) Habrá que iniciar de inmediato los trámites para la renta u obtención de concesión de un canal o canales de voz en un satélite y los permisos correspondientes para instalar y operar las respectivas estaciones en su sitio.

En el presente estudio, las estaciones terrenas se dimensionarán para la transmisión y recepción de un canal de voz y un canal de datos, cumpliendo los estándares internacionales de Comité Consultivo Internacional de Radio Comunicaciones (CCIR), Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía (CCITT) y los

reglamentos de INTELSAT (Consortio Internacional sobre satélites de comunicación), con la finalidad de efectuar pruebas experimentales de transmisión de datos hasta 9600 bits/seg y analizar el comportamiento de un canal telefónico en los diferentes procesos de transmisión. Otros aspectos que se podrían cubrir sería la capacitación de recursos humanos en la Ingeniería de enlace y experiencia en la evaluación técnico-económica de proveedores, así como en la instalación y operación de estaciones terrenas con tecnología reciente.

Es conveniente aclarar que a la fecha actual (Enero de 1985), el grupo de Telecomunicaciones del Departamento de Física Aplicada del CICESE, así como el grupo de Radio del Departamento de Comunicaciones del IIE, han modificado sus proyectos de investigación, por lo que este enlace será difícil llevarlo a la práctica. Cabe mencionar que la metodología de diseño, especificaciones técnicas, programas de computadora, criterios para la evaluación técnica de proveedores, cuyo contenido se encuentran en este trabajo se podrán aplicar para cualquier enlace o diseño de una red de Telecomunicaciones vía satélite en la que se requiera transmisión de voz y/o de datos.

El objetivo del enlace experimental sería la formación de investigadores prácticos en la tecnología espacial y la creación de un centro de entrenamiento a nivel nacional (por parte del IIE) en sistemas de telecomunicaciones de avanzada tecnología (Fibras

Opticas, Microondas Digitales y Estaciones Terrenas), tanto en la parte del diseño y construcción, operación e instalación, con la finalidad de optimar (consumir tecnología en función de costo beneficio) la futura infraestructura nacional, sin requerir de los servicios de asesoría del proveedor, que ocasionar fuga de capital e incrementa la dependencia del extranjero, sobre todo en organizaciones industriales como la Comisión Federal de Electricidad. Seguramente la próxima creación del Instituto Nacional de Comunicaciones (SCT) vendrá a aliviar esta situación.

1.1 SATELITES INTELSAT RENTABLES EN LA REGION DEL ATLANTICO.

La elección del satélite depende fundamentalmente de la relación geométrica entre éste y las estaciones terrenas por enlazar. El requisito técnico será cumplir los estándares de INTELSAT, que prohíben la operación de estaciones terrenas con un ángulo de elevación de la antena menor que 5° .

En el capítulo 2 de este trabajo, figura 2.1.b, se muestra el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena respecto al satélite en función de sus coordenadas geográficas, en el cual se indica, que para una diferencia en longitudes mayores que $\Delta L = 75^\circ$ el satélite queda completamente invisible para la estación terrena.

INTELSAT tiene hacia 1984 disponibles para renta doméstica en la región del Atlántico los satélites siguientes:

- a) INTELSAT IV (F7) - localizado a 307° Longitud Este.
- b) INTELSAT V (F2) - localizado a 332.5° Longitud Este.
- c) INTELSAT IV (F4) - localizado a 359° Longitud Este.

La estación terrena que se halla más alejada de cualquiera de estos tres satélites es la del CICRSD a 116.6° longitud Oeste. La diferencia en longitudes entre esta estación y los últimos dos satélites es, respectivamente de 89.16° y 115.6° estos dos satélites quedan por lo tanto, completamente invisibles para esta estación terrena. Se concluye, entonces, que los satélites INTELSAT V (F2) e INTELSAT IV (F4) no serían aceptables para ser usados en este enlace experimental, en su posición orbital actual.

El único satélite disponible que sí puede cubrir satisfactoriamente las ciudades en cuestión es el INTELSAT IV (F7), situado a 53° Longitud Oeste.

1.2 SISTEMA DE SATELITES MORELOS.

Actualmente el Gobierno Federal Mexicano, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tiene un proyecto bajo contrato con la compañía Norteamericana Hughes Aircraft, Co., para el diseño, construcción y puesta en órbita de dos satélites domésticos (la posición orbital será de 113.5° longitud Oeste y 116.5° Longitud Oeste), cuya puesta en órbita se tiene planeada para Junio y Noviembre de 1985. Las características técnicas (ver Anexo IV de este estudio) utilizadas para el Sistema Morelos.....-.

se han tomado de los valores estándares del modelo HS 376 de la misma compañía.

La explotación del Sistema Morelos, requerirá de una adecuada planeación e Ingeniería para el dimensionamiento y configuración de las estaciones terrenas que formarán parte de las futuras redes de telecomunicación Vía Satélite, así como del control operativo estricto de los satélites, para que se cumplan las especificaciones técnicas propuestas.

En el caso de que se quisiera utilizar el Sistema Morelos para el enlace experimental IHE-CICESE, se requerirá de un rediseño del enlace propuesto en este trabajo de tesis, puesto que las distancias y los ángulos de elevación, niveles de recepción y transmisión en el satélite, así como las pérdidas por atenuación en el espacio libre, será diferentes a aquellas utilizadas con el INTELSAT IV. De igual forma, si no se contase con el Sistema Morelos, dado que el INTELSAT IV se acerca al final de su vida operacional, habrá que rediseñar el enlace para el satélite que le sustituyera.

1.3 TECNICAS Y APLICACIONES DEL ACCESO MULTIPLE.

Un aspecto que es necesario definir en la operación de una estación terrena es la técnica de Acceso Multiple. Las principales

formas de acceso múltiple son las siguientes:

- a) Acceso Múltiple por división en la frecuencia (FDMA).
- b) Acceso Múltiple por división en el tiempo (TDMA).
- c) Acceso Múltiple por dispersión del espectro (SSMA).
- d) Acceso Múltiple por haz espacial (SBMA).

Las primeras 3 formas (FDMA y TDMA) son analogías de los esquemas de multiplexaje usados en sistemas terrestres multicanales analógicos y digitales. La técnica SSMA no ha sido usada en sistemas terrestres comerciales y ha encontrado aplicación restringida en telecomunicaciones Vía Satélite, para sistemas militares.

El acceso múltiple por haz espacial (SBMA) es utilizado en satélites de alta capacidad como un medio de re-uso de frecuencia, pero puede formar la base de sistemas de acceso múltiple más complejos en que el haz estrecho puede ser dirigido a una estación terrena en particular. La aplicación doméstica para esta técnica, aún requiere de un desarrollo de la tecnología de los satélites de telecomunicaciones .

La mejor solución para una red en particular, está en función del tipo de servicio requerido (voz, datos, TV), el número de estaciones, el grado de interconectividad (red malla o estrella), la cantidad de tráfico y los objetivos de ejecución (BER y S/N), crecimiento y consideraciones futuras.

1.3.1 Acceso Múltiple por división en la frecuencia (FDMA).

Este es el sistema más ampliamente usado por INTELSAT IV y está asociado con modulación de frecuencia (FM) de la portadora y con multicanalización por división en la frecuencia (FDM) de las señales de banda base. Este esquema es conocido como FDM/FM/FDMA. En la figura 1.3.1.a se muestra la configuración básica de FDMA utilizando modulación de frecuencia.

El uso de este esquema en el satélite INTELSAT IV, consiste en agrupar supergrupos de 60 canales telefónicos ocupando un ancho de banda de 252 MHz de banda base, más grupos adicionales de 12 canales para requerimientos de bajo tráfico. Los supergrupos contienen canales con muchos destinos, pero son modulados por una portadora en la banda de frecuencia de 6GHz. La señal en recepción consiste de una portadora de 8 MHz., que es demodulada en FM y los canales apropiados para una estación terrena en particular son extraídos y multicanalizados en banda base a través del equipo FDM.

La principal desventaja con FDMA es que el amplificador de potencia en el satélite es operado próximo a la región de saturación, donde su característica de transferencia es lineal. Esto trae como consecuencia que productos de intermodulación aparezcan entre

las portadoras múltiples y aquellas con frecuencias $2f_1 - f_2$ (donde f_1 y f_2 son dos frecuencias de portadoras) tienden a caer dentro del pasabanda del transpondedor.

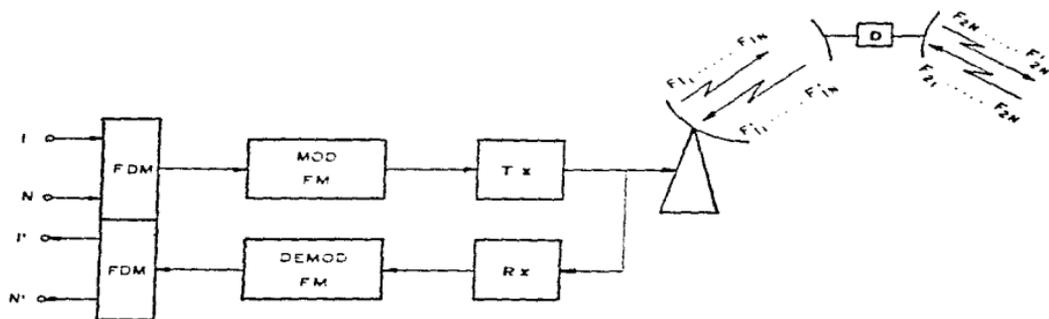


Fig. 1.3.1.a. Configuración básica del proceso de transmisión FDM/FM/FDMA.

Para evitar la distorsión por intermodulación, se proporcionan bandas de guarda entre las frecuencias de las portadoras con el objetivo de que los productos de intermodulación ocurran dentro de la banda de guarda. La operación del transpondedor con altos niveles de potencia de back-off reduce la intermodulación, pero también reduce la eficiencia del satélite y la potencia por portadora. Sin embargo en los satélites de la organización INTELSAT que son limitados en ancho de banda y no en potencia, los niveles de potencia de back-off de 7.0 dB para haz pincel y de 4.2 dB para haz global, así como la implantación de filtros especiales y de igualadores para retardo de grupo en señales de TV, permiten que en el INTELSAT IV con un transpondedor de 36 MHz se disponga de una portadora de TV o de dos portadoras TV ocupando 18 MHz cada una, y en el INTELSAT IV/A con un transpondedor de ancho de banda de 36 MHz, se disponga de un número típico de canales telefónicos en el rango de 700 a 1300 utilizando haz pincel, y de 450 canales telefónicos con haz global.

El sistema FDM/FM/FDMA de INTELSAT es apropiado para estaciones terrenas que se ajustan a una especificación estándar (estaciones tipo A ó B) y para portadoras con un razonable valor de tráfico (En México, en las instalaciones de Tulancingo, Hgo, se hace uso de este sistema y cuya aplicación es para comunicación internacional).

1.3.1.1. Técnica SCPC.

Cuando se requieren estaciones terrenas de baja capacidad (menos que 12 canales telefónicos) para comunicación vía satélite con haz global, el esquema FDM/FM/FDMA es caro de implantar, tanto en términos de costo como de eficiencia espectral. Esto ha permitido el desarrollo de nuevos sistemas, en que a un canal telefónico se le asocia una frecuencia portadora de radiofrecuencia y cuya modulación en R.F. se puede efectuar en frecuencia (FM) o en fase. Las portadoras únicas usan un transpondedor en modo FDMA, con espaciamento entre portadoras que dependen de los estándares establecidos. La técnica en la cual se genera una portadora única por cada canal de voz o de datos se le conoce como la técnica de canal único por portadora, mejor conocida por las siglas SCPC (SINGLE CHANNEL PER CARRIER).

Dos estándares son generalmente identificados para usar la técnica SCPC y las especificaciones son las siguientes:

- A) Estándar INTELSAT.- Sistema PCM con velocidad de transmisión de 64 Kb/seg. con espaciamento entre canales de 45 KHz y ancho de banda de 36 KHz. La técnica de modulación de r.f. puede ser de 2-psk y/o 4-psk. Los canales pueden ser usados para soportar circuitos de datos a 56 Kb/seg con un código convolucional de 7/8 para reducir la tasa de bits detectados en error (BER).

Otra versión de SCPC usa modulación de frecuencia con compensador y proporciona ejecución equivalente a la modulación digital de fase.

B) Estándar doméstico.- las características del canal para este tipo, es que el espaciamento entre canales es de 22.5 KHz, o de 30 KHz, y el ancho de banda de ruido es de 18.75 KHz, o de 22.5 KHz, respectivamente. Dos tipos de técnicas de modulación son extensivamente usados:

- i) Modulación delta en banda base a 20 KHz/seg.
- ii) Modulación de frecuencia con compensador.

Ya que los modos analógicos y digitales son subjetivamente equivalentes, nosotros consideramos aquí la opción digital ya que permite mayor control sobre la tasa de error para los canales de datos.

Todos los tipos de SCPC operando con telefonía son canales activados por voz y esto reduce al ruido de intermodulación en el satélite.

Para operación de datos, la portadora puede ser transmitida continuamente o a través de una respuesta a un comando.

La parte más importante del sistema SCPC es la unidad de canal mostrada en la fig. 1.3.1.1.a. La sección de transmisión acepta un canal de voz analógica y produce una portadora modulada en 4-PSK, mientras que la sección receptora acepta la portadora demodulada y produce la señal de voz.

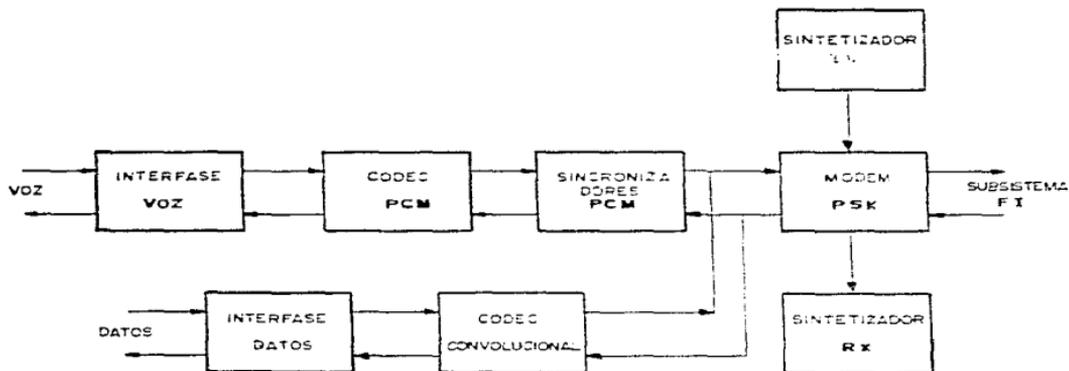


Fig. 1.3.1.1.a.- Diagrama de bloques de la unidad de canal SCPC :

Los principales bloques de la unidad de canal son los siguientes:

- 1).- Un codificador- decodificador (CODEC). Proceso PCM, ley de compresión A: 7 bits/muestra con una tasa total de bits de 56 Kb/seg.
- 2.- Sincronizadores PCM.- Insertan y extraen los bits de la trama de transmisión.
- 3.- Un modem QPSK que modula y limita en banda el flujo de bits a la velocidad de transmisión de 64 Kb/seg.
- 4.- Sintetizadores digitales de frecuencia que son utilizados para heterodinar las portadoras de transmisión y recepción.

El uso de dos sintetizadores permite mayor flexibilidad en la asignación de frecuencias de transmisión. Es relativamente simple adaptar las unidades de canal para transmisión de datos de 48 Kb/seg o 56 Kb/seg. Para este propósito, un CODEC convencional de 3/4 o 7/8 corrección de errores es añadido.

El modem QPSK puede ser considerado el corazón de la unidad de canal. Tiene un impacto directo sobre la ejecución del sistema

y requiere de un diseño sofisticado debido a las especificaciones de interferencia del sistema.

1.3.2. Acceso Múltiple por División en el tiempo- (TDMA).

El problema de la no-linealidad del amplificador de potencia en el transpondedor puede ser superado si una portadora única es usada por transpondedor y así poder usar el amplificador de potencia en la región de saturación. Sin embargo cuando 20 - 30 estaciones terrenas están haciendo uso de un satélite, no es económico el uso de varios transpondedores. La división por tiempo entre usuarios con un período de marco de 125 μ seg. permite un proceso de muestreo a 8 KHz, usando canales de voz con un ancho de banda de 4 KHz.

El marco es dividido dentro de muchos sub-marcos (depende del número de estaciones utilizando el satélite) y en muchos diseños avanzados, los sub-marcos pueden ser de longitud variable para proporcionar asignación por demanda de la capacidad de canales.

Utilizando el modo de transmisión TDMA, se obtienen capacidades máximas hasta de 3200 canales telefónicos (canales de 3.1 KHz y aplicando técnicas de optimización de actividad del canal de voz), con transpondedores de 72 MHz (INTELSAT V) y estaciones terrenas estándar A. (diámetro de antena de 30 Mts.).

El principal problema con TDMA es la sincronización . Cada estación terrena debe transmitir su información solamente en el período del sub-marco asignado. Esto ocasiona que se requiera de la implantación de códigos de sincronización de bajo nivel, para evitar que cualquier movimiento físico en el satélite pueda variar el tiempo de retardo de la señal.

La técnica de sincronización bit por bit entre marcos permite un uso mejor de la capacidad disponible, ya que un número mínimo de bits de sincronización es requerido en el inicio de cada sub-marco. Un sistema de este tipo ha sido probado con los satélites ATS usando un ancho de banda en el transpondedor de 30 MHz, con una tasa de bits detectados en error de 10^{-5} a una relación portadora a ruido (C/N) de 10-13 dB y una tasa de datos transmitidos de 13 Mbits/seg y 27 Mbits/seg.

La principal ganancia en la capacidad del canal es obtenida limitando el amplificador de potencia en el transpondedor, cuantificando la señal de voz a 8 niveles, y limitando la información total por portadora.

1.4 COMPARACION TECNICA ENTRE SCPC Y TDMA.

1.4.1 Técnica SCPC.

El sistema SCPC utiliza modulación de frecuencia (FM) o modulación digital (PSK) para generar una portadora única por cada canal de voz y datos. Ya que una portadora se asigna a cada circuito de voz, la voz se utiliza para activar el transmisor (VOX). Los datos se transmiten sobre el canal telefónico. Alternativamente los datos pueden ser directamente modulados en su canal.

El sistema SCPC utiliza portadoras anchas y cercanas, p. ej., 10.5, 10 o 13 KHz. Esto requiere un sistema convertidor de frecuencia altamente estable y de bajo ruido de fase para asegurar una rápida obtención de las portadoras y un buen desempeño del equipo. Estos convertidores son complejos en comparación con aquellos requeridos para el sistema TDMA. Por ejemplo, un convertidor de frecuencias SCPC debe tener una estabilidad de frecuencia mínima de una parte en 10^8 por mes, utiliza un sistema de seguimiento (tracking) del piloto para mantener las desviaciones de frecuencia del sistema menores que 2000 Hz (ver documento INTELSAT EG-28-74).

En contraste, un convertidor de frecuencia en sistemas TDMA debe tener una estabilidad de frecuencia de una parte en 10^7 por mes y no necesita piloto. En el sistema SCPC, los amplificadores de potencia en cada estación terrena no pueden ser operados a saturación, ya que se transmiten portadoras múltiples y debe proporcionarse un back-off a los amplificadores (típicamente 3-7 dB) para reducir los productos de intermodulación. Como resultado, se requieren amplificadores más grandes y más complejos que aquellos utilizados con TDMA.

El sistema SCPC se considera como una técnica de comunicación viable en redes de malla, puesto que la interconexión entre estaciones terrenas puede realizarse mediante la adición de módems SCPC. Se pueden proveer circuitos adicionales en una terminal específica siempre y cuando no se exceda la capacidad de potencia del amplificador de potencia.

Las ventajas y desventajas del sistema SCPC se resumen a continuación:

Ventajas:

- *Técnica viable de comunicación para redes de malla.
- *Usualmente flexible para la adición de canales.
- *DAMA (La asignación de espacio en el transpondedor puede ser temporal, o sea de asignación por demanda).

Desventajas:

- Utiliza amplificadores de potencia de mayor nivel que en sistemas TDMA.
- Utiliza conversores de frecuencia complejos, con tolerancias críticas y seguimiento del piloto.

1.4.2. Técnica TDM.

El sistema TDMA utiliza una técnica digital de multiplexaje para combinar todos los canales por transmitir desde una estación terrena específica a una señal individual de datos. La señal de voz (digitalizada) y los datos se combinan en el tiempo. Cada estación radia una portadora individual. La modulación PSK se utiliza para generar cada portadora. La activación por voz (VOX) no es aplicable ya que se suministran circuitos múltiplex en una portadora.

TDMA es la técnica más eficiente de transmisión de datos. Comúnmente se obtienen tasas de errores (BER) muy inferiores a 10^{-6} (típicamente 10^{-8}) y ya que solamente se transmite una portadora para cada estación, los amplificadores de potencia pueden efectivamente manejarse a saturación (ganancia de 5-7 dB sobre el SCPC).

Como las portadoras generalmente utilizan mayor ancho de banda que las portadoras en SCPC, se pueden utilizar conversores de frecuencia significativamente menos complejos que en SCPC.

Una ventaja adicional del sistema TDMA se basa en el uso de tecnología digital. La técnica de procesamiento de señales digitales es utilizada para mejorar el desempeño del sistema y la eficiencia de transmisión. La técnica codificada de corrección de errores, multiplexado estadístico y la conversión de datos asíncronos son utilizados en el diseño óptimo de redes. A la vez, los circuitos digitales son más fáciles de mantener que los analógicos ya que no tienen ajustes de polaridad o problemas de fugas de voltaje.

Las ventajas y desventajas de la técnica TDMA se resumen a continuación:

Ventajas de TDMA:

- °Altamente flexible y con ajustes mínimos.
- °Utiliza convertidores de frecuencia altamente eficientes.
- °Modular.
- °Utiliza amplificadores de potencia de estado sólido de alta confiabilidad.

- °Se obtiene un excelente desempeño en la transmisión de datos.

- °Excelente configuración para una red estrella.

- °Procesamiento digital eficiente de la señal.

Desventajas de TDMA:

- °Utiliza más ancho de banda que el sistema SCPC.

- °Complejidad de sincronización.

De la comparación técnica anterior entre SCPC/TDMA, se concluye que la implantación con SCPC/FDMA para las estaciones terrenas III-CICESE, es considerada ser la elección más adecuada debido a su simplicidad, atractiva en costo y por la relación directa entre capacidad de tráfico y costo de la estación terrena.

1.5 TECNICAS DE MODULACION DIGITALES.

Aunque FM es usada casi exclusivamente en sistemas de satélites comerciales, las técnicas de modulación digitales serán más ampliamente usadas en el futuro debido al incremento en la eficiencia de ancho de banda, capacidad, confiabilidad y manejo flexible de tráfico.

Las características de las comunicaciones digitales que presentan ventaja en las comunicaciones espaciales son las siguientes:

- 1) La capacidad de llevar a cabo cualquier control de error en la transmisión de datos.
- 2) Compromiso eficiente entre ancho de banda y relación señal/ruido (S/N) permitiendo una ganancia superior en el procesamiento de la señal, que aquellos obtenidos con sistemas analógicos.
- 3) Flexibilidad en el manejo de los mensajes, tales como señales multiplexadas en banda base con características diferentes, extracción e inserción de canales, enrutamiento, conmutación, almacenamiento y regeneración de señales.
- 4) La capacidad del procesamiento de señales permitiendo la conservación del espectro mediante codificación de la fuente de información, reducción en la redundancia y compresión de datos.

Las técnicas de modulación de ancho de banda eficiente presentan un compromiso entre potencia y ancho de banda (por ejemplo, un canal transportando una cierta tasa de transmisión requiere una mayor potencia pero menor ancho de banda de radio frecuencia cuando un esquema de modulación de ancho de banda eficiente, es empleado). La eficiencia en ancho de banda es fácilmente obtenida en sistemas de modulación digital, incrementando el número de niveles en un esquema de modulación multi-nivel.

Los esquemas de modulación digitales como es el caso de MPSK son menos sensibles a la interferencia (comparados a los sistemas analógicos FM). Estas técnicas de modulación son de envolvente constante y requieren relativamente de poco ancho de banda. Para valores de M mayores de 8, la técnica MPSK tiene una eficiencia de ancho de banda mayor que PSK de dos o de cuatro fases, pero es menos eficiente por lo que respecta a la utilización de la potencia disponible. MPSK con M=8 se utiliza ampliamente para tasas muy altas de transmisión, debido al ahorro que ofrece en ancho de banda. La tasa de errores (BER) o probabilidad de error para cada una de estas técnicas de modulación digital se puede expresar en función del cociente (energía por bit)/ (densidad de ruido), el cual se indica como E_b/N_0 , tanto para detección coherente como coherente diferencial.

Ya que la consideración de la potencia en el transportador es usualmente el primer paso en la selección del método de modulación, es necesario adoptar técnicas de modulación que involucren un mejoramiento en la relación portadora/ruido en el proceso de demodulación. En general, los métodos digitales más efectivos en este contexto, son las técnicas 2-PSK y 4-PSK.

1.6 METODOLOGIA DE PLANEACION E INGENIERIA DEL ENLACE EXPERIMENTAL.

El proceso de planeación consiste en definir el número de canales requeridos en el enlace, la técnica de acceso múltiple y el método de modulación de R.F. (ya sea analógico o digital), el objetivo operativo del enlace, los posibles satélites por utilizar, definir la banda de frecuencias de operación, especificar el lugar de instalación de las estaciones terrenas en cuestión, así como la aplicación de normas y estándares publicados por INTELSAT, CCIR, CCITT y los reglamentos de SCT.

La ingeniería de enlace comprende el cálculo de los parámetros de diseño mediante las ecuaciones de transmisión, fenómenos atmosféricos involucrados y las degradaciones inherentes al proceso electrónico de transmisión.

Definir la planeación y desarrollar la ingeniería de enlace, trae como consecuencia dimensionar la estación terrena, configurar el sistema (tanto para transmisión como recepción) y especificar los niveles (de potencia, ancho de banda, interferencia, impedancia, interfases, etc.) de los subsistemas de banda base, FI y de RF.

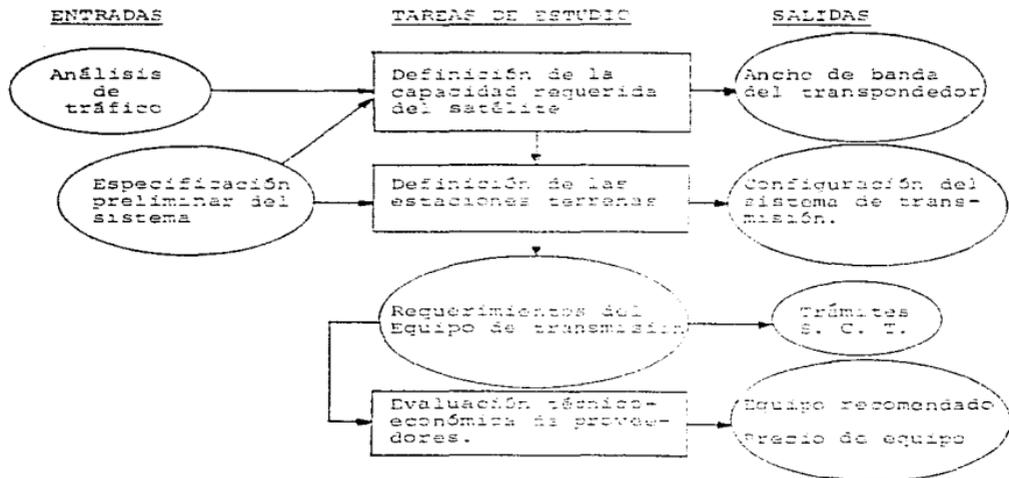


FIG. 1.6.a. Diagrama de flujo con la metodología para la planeación e ingeniería del enlace experimental.

En la figura 1.6.a se muestra el diagrama de flujo de las actividades involucradas en los procesos de planeación e ingeniería del enlace experimental. Esta metodología será aplicada en este trabajo con el objetivo de lograr un documento de referencia para la evaluación técnico-económica de proveedores y así, poder proceder a la adquisición de la estación terrena más adecuada en función de los resultados obtenidos en este estudio.

CAPITULO 2.- DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISION.

2.2 INTRODUCCION.

En esta sección se desarrolla el modelo matemático para el diseño de enlaces vía satélite. Se describen los parámetros y variables involucradas en el diseño, así como sus relaciones geométricas y eléctricas.

Inicialmente se trata el ángulo del enlace de elevación de cada estación terrena, parámetro que es importante conocer en el diseño debido a que discrimina el uso de algunos satélites en función de la longitud geográfica -- relativa entre el satélite y la estación terrena. El ángulo de elevación debe cumplir con ciertos estándares de acuerdo a normas internacionales: un ángulo de elevación menor que 5° no es considerado aceptable por la organización INTELSAT, debido a que se producen interferencias -- terrestres, ya que se tiene un elevado nivel de ruido en recepción. Otro parámetro importante de diseño es la figura de mérito, que representa la dimensión de la estación terrena (diferencia de la antena y electrónica de recepción) en función del tráfico requerido. La potencia -- del transmisor y la relación potencia/ruido son otros parámetros que son necesarios especificar en el cálculo del enlace. INTELSAT ha publicado documentos de ejecución para sistemas de tráfico estándar E) que difieren de los documentos que existen para los estándares A, B y C, en que las características siguientes no son incluidas:

- a).- Figura de mérito, S/T
- b).- Método de modulación.
- c).- EIRP máximo/portadora.
- d).- Ganancia de la antena en transmisión.
- e).- Calidad del canal.

Estos parámetros son de libre elección por el arrendatario en decidir el tipo de diseño de transmisión para sus requerimientos particulares. Sin embargo, los valores elegidos deberán ser revisados por INTELSAT.

Si los requerimientos para la ejecución del estándar E son llevados a cabo, un rango amplio de tamaños de estaciones terrenas, técnicas de modulación y calidad de ejecución pueden ser elegidos. Estos requerimientos de ejecución, especifican capacidades mínimas de la estación terrena y niveles máximos de emisión para el propósito de llevar a cabo niveles aceptables de interferencia.

Otras consideraciones de INTELSAT para el estándar E son las siguientes:

- 1) El plan de transmisión para sistemas arrendados será coordinado por INTELSAT, con el propósito de asegurar que los niveles de interferencia (dentro de la red arrendada y los otros usuarios del segmento espacial) se encuentren dentro de niveles aceptables, y la calidad del servicio esperado por el arrendatario pueda ser realizada y mantenida.

- 2) Es requerido que el diseño de la estación terrena sea tal, que cambios en las frecuencias portadora de RF para transmisión, recepción puedan ser hechos conforme un plan de frecuencias adecuado, con el propósito de limitar la interferencia mutua entre sistemas.
- 3) La confiabilidad del equipo de la estación terrena será de tal magnitud, que el segmento espacial no podrá ser expuesto por emisiones erróneas debido a niveles inadecuados de portadora, frecuencia o estado de polarización.

2.1. CALCULO GEOMETRICO PARA LOS ANGULOS DE ELEVACION DE LAS ESTACIONES TERRENAS.

Con referencia a la figura 2.1.a y utilizando geometría analítica tridimensional, se deducen las siguientes relaciones.

COORDENADAS DEL SATELITE

$$X_s = 1$$

$$Y_s = R_e - R_p = 6,378 - 35,784 \\ = 42,162 \text{ Km.}$$

$$Z_s = 0$$

en donde R_e representa el radio terrestre y R_p la altitud del satélite sobre el nivel del mar.

COORDENADAS DE LA ESTACION TERRENA

$$X_t = R_e \text{ sen } (90^\circ - \text{latitud}) \text{ cos } (90^\circ - \text{longitud relativa})$$

$$Y_t = R_e \text{ sen } (90^\circ - \text{latitud}) \text{ sen } (90^\circ - \text{longitud relativa})$$

$$z_u = R_0 \cos (90^\circ - \text{latitud})$$

La latitud y longitud relativa están dadas en grados.

$$\begin{aligned} \text{Longitud relativa} &= \text{longitud de la estación terrena} \\ &\quad - \text{longitud del satélite} \end{aligned}$$

NOTA.- Al calcular x_u , y_u y z_u , el valor de R_0 que debe emplearse es igual al radio terrestre más la altura sobre el nivel del mar que tenga la estación terrena en cuestión.

ANGULO DE ELEVACION

Este ángulo se define como el ángulo formado entre las rectas L_1 y L_2 ; la recta L_1 contiene a los puntos T y S de la figura 2.1.a, en donde T=estación terrena y S=satélite; la recta L_2 contiene a los puntos T y C, en donde C se halla sobre el eje 'y' y queda contenido por uno de los planos tangentes a la tierra en el punto T.

Al ángulo de elevación se le denotará como ALFA y se calcula mediante la expresión siguiente:

$$\text{ALFA} = \arccos \left| \frac{x_u^2 - (y_u - y_s)(y_u - y_s) + z_u^2}{(MOD 1) (MOD 2)} \right|$$

$$\text{en donde } y_c = \left| \frac{x_u^2 - z_u^2}{y_u} \right| - y_u > R_0$$

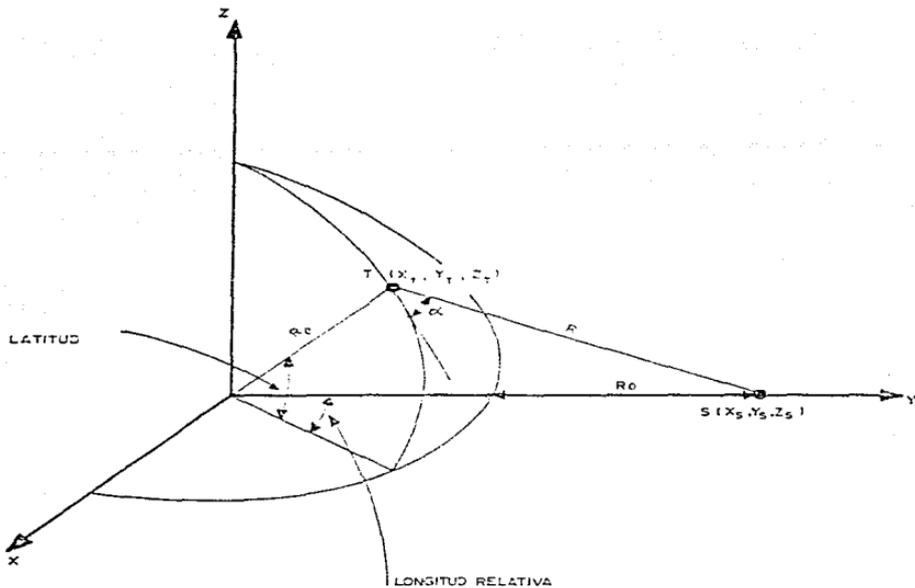


Fig.2.1.a.- SISTEMA DE COORDENADAS ESFERICAS Y LOCALIZACION GEOMETRICA DE LA ESTACION TERRESTRE Y DEL SATELITE.

$$\text{MOD 1} = \left(x_t^2 - (y_t - y_c)^2 + \frac{R_t^2}{R_c^2} \right)^{1/2}$$

$$\text{MOD 2} = \left(x_t^2 - (y_t - y_s)^2 + \frac{R_t^2}{R_s^2} \right)^{1/2}$$

Para el enlace vía satélite IIE - CICESE, la coordenadas geográficas de las estaciones terrenas consideradas son las siguientes:

	longitud	latitud	altura sobre el nivel del mar.
IIE, Cuernavaca, Mor	99° 13' 10"	19° 51' 40"	1360 m.
CICESE, Ensenada, B. C.	116° 39' 41"	31° 32' 00"	20 m

Estos datos fueron extraídos de las cartas topográficas H 11 B12 (Ensenada) y E-14- A-59 (Cuernavaca) editadas por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional de la Secretaría de la Presidencia.

Para emplear las fórmulas deducidas anteriormente, la longitud que se usa del satélite es su longitud gesta.

En el Anexo II se dan los resultados obtenidos por computadora para los ángulos de elevación de estas dos estaciones, considerando como alternativa dos satélites: el Intelsat IV (F7) y el sistema Morelos. Para el caso del primero, los ángulos resultantes son de 33.66° y 13.62° para el IIE y el CICESE, res-

pectivamente. Para el Satélite Morelos, estos ángulos mejoran, respectivamente, a los valores de 60.32° y 52.90°, considerando el satélite ubicado a 116.5° Longitud Oeste.

La figura 2.1.b. sirve para especificar de manera aproximada, el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena en cuestión en función de sus coordenadas geográficas relativas respecto al satélite geostacionario.

2.2. ECUACIONES DE DISEÑO DE TRANSMISION.

2.2.1 Ecuaciones de Transmisión - trayectoria de subida.

La potencia radiada isotrópica efectiva de una estación terrena que llega a la antena receptora del satélite, está dada por la ecuación:

$$P_e = \text{flujo de potencia en el punto del satélite} \\ + 10 \log (4\pi R^2) + \text{pérdidas atmosféricas. (1)}$$

El flujo de potencia total, igual a la suma de las potencias de todas las portadoras transmitidas por todas las estaciones terrenas, que llega a la antena receptora del satélite determina la región de operación del amplificador dentro del transpondedor del satélite. Esto a su vez influye en el ruido de intermodulación añadido a las portadoras y, por lo tanto, en la calidad de la señal recibida en cada estación terrena, después de su retransmisión por el satélite.

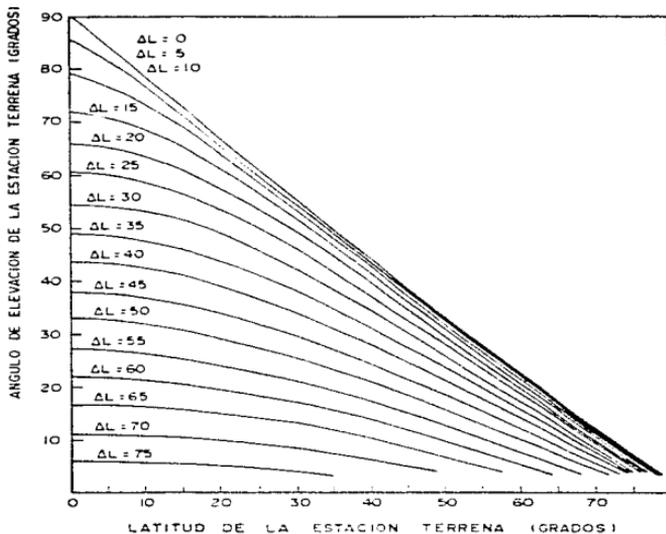


Fig. 2-1-b CARTA MOSTRANDO EL ANGULO DE ELEVACION DE LA ESTACION TERRENA RESPECTO AL SATELITE EN FUNCION DE SUS CORDENADAS GEOGRAFICAS RELATIVAS.

NOTA: ΔL = DIFERENCIA ENTRE LA LONGITUD OESTE DEL SATELITE GEOSTACIONARIO Y LA LONGITUD GEOGRAFICA DE LA ESTACION TERRENA. (GRADOS).

Por ejemplo, para el INTELSAT IV, una densidad de flujo de -67.5 dBW/m^2 de iluminación en la antena receptora produce una salida saturada del amplificador del satélite de 33.7 dBW para el haz pencil.

En la ecuación (1) 'e' indica 'estación y 'r' la distancia directa de la estación terrena al satélite. La densidad de flujo está dada en dBW/m^2 y r en metros. Las pérdidas atmosféricas son poco considerables y son esencialmente producidas por absorción en el aire debida a las moléculas de oxígeno y al vapor de agua.

La cantidad de absorción depende de la frecuencia. Por lo general se considera 1 dB de absorción a frecuencias de 4 GHz y 6 GHz. En la figura 3.2.1.a. se muestra un diagrama de bloques simplificado de los principales módulos y parámetros que intervienen en los cálculos de un enlace vía satélite típico. Al viajar la señal de la estación terrena al satélite, ésta sufre una atenuación dada por la ecuación.

$$A = 20 \log \frac{4 \pi r^2}{\lambda} \text{ dB} \quad (2)$$

en donde λ representa la longitud de onda a la frecuencia de operación:

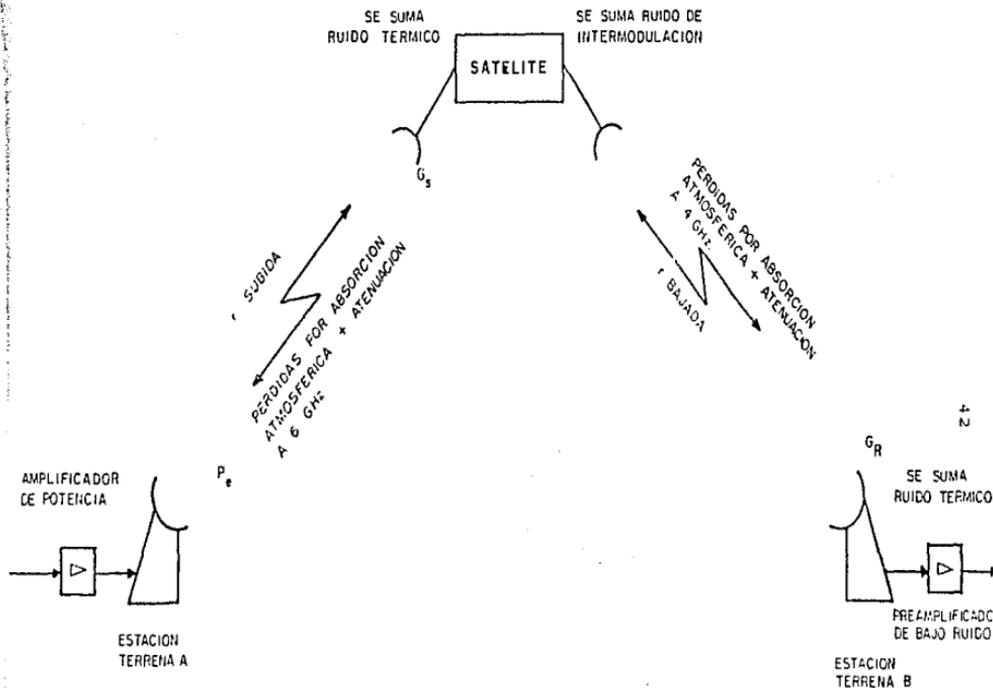


Fig. 2.2.1. a. DIAGRAMA DE BLOQUES SIMPLIFICADO DE LOS PRINCIPALES MODULOS Y PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN LOS CALCULOS DE UN ENLACE VIA SATELITE TÍPICO.

La ecuación (2) también se puede escribir como:

$$A = 20 \log \left(4\pi \frac{rf}{c} \right) + 130 \text{ dB} \quad (3)$$

en donde f es la frecuencia de operación en GHz, c la velocidad de la luz = 3×10^8 Km./seg, y r es la distancia directa de la estación terrena al satélite en Km.

Además de la absorción y atenuación mencionadas anteriormente, puede haber variaciones de densidad en la composición de la atmósfera, fuerte lluvia, variaciones en la potencia de salida del transmisor y otros efectos aleatorios. Por lo tanto, siempre debe considerarse un margen, conocido como 'margen de lluvia' M debido a que los efectos por lluvia son los más significativos. Usualmente se considera un margen de lluvia M de 2 a 4 dB.

La señal que llega a la antena del satélite es afectada por ruido térmico cuyo valor depende del ancho de banda del receptor del satélite y de la temperatura de ruido de entrada:

$$N_g = 10 \log (kT_g B) \text{ dBW} \quad (4)$$

en donde N_g es el ruido térmico en la trayectoria de subida, k es la constante de Boltzmann = 1.38×10^{-23} W/°K, T_g la temperatura de ruido de entrada del satélite en grados Kelvin y B el ancho de banda del receptor en Hz.

La ecuación (4) también se puede expresar como:

$$N_S = -198.6 + 10 \log (T_S B) \text{ dBm} \quad (5)$$

La relación portadora/ruido para la trayectoria de subida se puede expresar finalmente como:

$$\frac{C}{N_S} = P_e - A_S - M + G_S - N_S \text{ dB} \quad (6)$$

en donde G_S es la ganancia de la antena del satélite y A_S es la atenuación de subida.

2.2.2. Ecuaciones de Transmisión - Segmento espacial.

La mayor parte de la distorsión que sufre la señal en el satélite se debe a la etapa de salida del amplificador en el transpondedor. Como el satélite opera en acceso múltiple, en la mayoría de los casos se tienen varias portadoras por transpondedor; las diferentes portadoras que pasan por el amplificador generan armónicas o productos de diferentes órdenes, produciendo lo que se conoce como "ruido de intermodulación". Este "ruido" depende del número de portadoras presentes y del punto de operación del amplificador.

Cerca del punto de saturación la característica de los amplificadores es no-lineal y por lo tanto es preferible no operarlos en saturación. Esto, sin embargo, puede afectar la calidad de la señal recibida por cada

estación terrena si es que llega demasiado atenuada a tierra. El ruido de intermodulación se reduce al operar los amplificadores en puntos debajo de la saturación. A la disminución de potencia de salida con respecto al punto de saturación se le da el nombre de "output back-off"; en la figura 2.2.2a, se muestra una gráfica que indica la variación de la portadora/ ruido de intermodulación en función del back-off de salida para un amplificador T.W.T. de acuerdo al número de portadoras presentes en él.

2.2.3. Ecuaciones de Transmisión - Trayectoria de Bajada.

La ecuación (3) para calcular la atenuación también es válida para la trayectoria de bajada (nótese que la frecuencia es distinta). Deben además considerarse márgenes de absorción y de lluvia.

La señal al llegar a cada estación terrena es afectada por ruido térmico debido al receptor de la misma. Este ruido de la estación terrena se calcula como:

$$N_e = -198.6 + 10 \log(T) + 10 \log(B) \text{ dBm} \quad (7)$$

en donde T es la temperatura de ruido de la antena terrestre en °K y B el ancho de banda de F.I. del receptor en Hz.

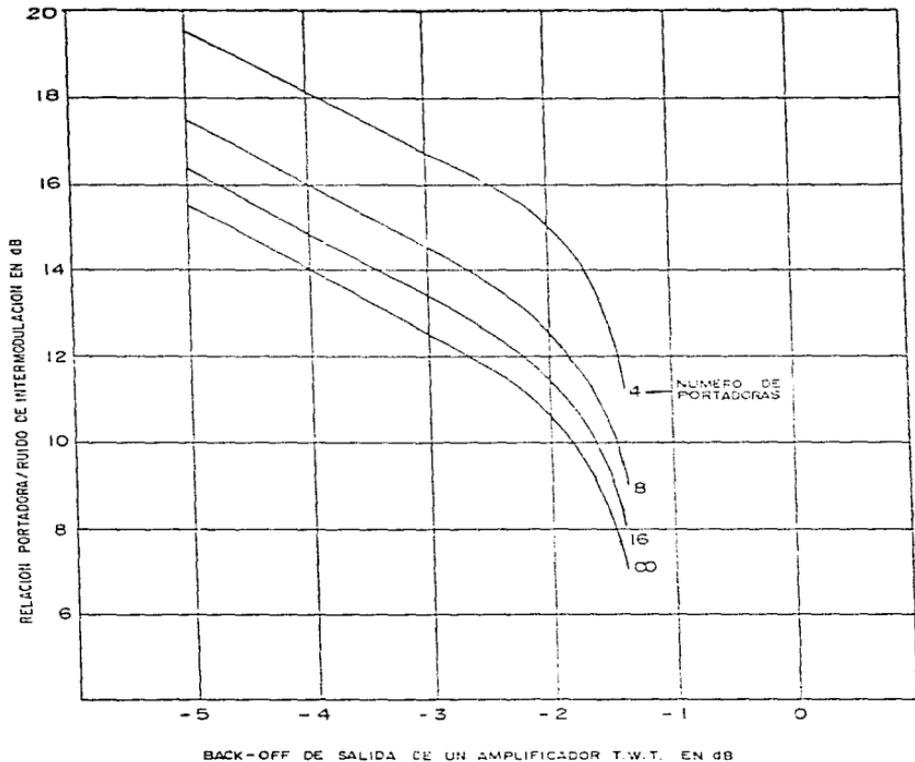


Fig. 2.2.2.a.- RELACION PORTADORA/RUIDO DE INTERMODULACION EN FUNCION DEL BACK-OFF PARA UN AMPLIFICADOR T.W.T. TIPICO.

La relación portadora/ruido para la trayectoria de bajada está dada entonces por:

$$\frac{C}{N_B} = P_s - A_b - M - N_g - G - \text{pérdidas atmosféricas} \quad (8)$$

P_s es la potencia radiada isotrópica efectiva del satélite por portadora y la ganancia G de la antena se calcula como:

$$G = 10 \log \left(\frac{K \pi^2 D^2}{4\lambda^2} \right) \text{ dB} \quad (9)$$

en donde K es un factor de eficiencia generalmente tomado como 45% - 60% y D es el diámetro de la antena.

Sustituyendo la ecuación (7) en la (9) se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{C}{N_B} = & P_s - A_b - M - 195.6 - 10 \log (B \text{ en Hz}) \\ & + 10 \log \left(\frac{\text{Ganancia de la antena } G}{\text{Temperatura de ruido } T} \right) \quad (10) \\ & - \text{pérdidas atmosféricas.} \end{aligned}$$

El término G/T entre paréntesis en la ecuación (10) recibe el nombre de cifra o figura de mérito

2.2.4. Relación total Portadora/Ruido.

La relación total portadora/ruido o C/N es función de las relaciones C/N_s , C/N_D y C/N_I , en donde N_I representa al ruido de intermodulación.

- * Nota.- Es importante notar que también puede haber ruido debido a interferencias de otros satélites, otras estaciones terrenas o sistemas terrestres de comunicaciones, y su efecto puede incluirse también en la ecuación (11)

Esta relación total portadora / ruido está dada por la ecuación siguiente:

$$\frac{C}{N} = 10 \log \left[\frac{1}{\text{antilog}((C/N_s)/10)} + \frac{1}{\text{antilog}((C/N_D)/10)} + \frac{1}{\text{antilog}((C/N_1)/10)} \right] \quad (11)$$

La especificación del valor de operación de la relación total C/N está en función de la técnica de modulación empleada, de la tasa de bits transmitidos y del ancho de banda utilizado.

2.3. CALCULO DEL ENLACE.

2.3.1. Relación Portadora/Ruido (C/N).

Para fines de cálculo de enlaces digitales, es más conveniente trabajar con la relación portadora/densidad de ruido que con la relación energía por bit/densidad de ruido para lo cual, las siguientes relaciones simples pueden encontrarse.

$$E_b = C T_b = C (1/f_b) \quad (12)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C/f_b}{N/BW} = \frac{C \cdot BW}{N f_b} = \left(\frac{C}{N}\right) \times \frac{BW}{f_b} \quad (13)$$

En donde $N_0 = N/BW =$ Densidad de ruido a la entrada del receptor

Expresada la ecuación (13) en decibeles se tiene que:

$$(C/N) = \frac{(E_b)}{N_0} + 10 \log f_b - 10 \log (BW) \dots \text{dB} \quad (14)$$

en donde:

E_b = energía promedio de un bit

f_b = tasa de bits transmitidos = 64 kb/s (para un canal de voz codificado en PCM, estándar de CCITT).

T_b = duración de un bit.

C = Potencia promedio de la portadora.

N_0 = densidad espectral de potencia de ruido.

BW = ancho de banda de P.F. en el receptor.
= 38 KHz (para un canal SCPC de 45 KHz).

Para el caso de transmisión de datos con probabilidad de error $P(e) = 10^{-3}$ y con técnica de modulación QPSK coherente, se tiene de acuerdo a la gráfica de la figura 2.3.1.3, un $E_b/N_0 = 11.5$ dB.

De ahí que:

$$\begin{aligned} (C/N) &= 11.5 + 10 \log (64 \text{ Kb/s}) - 10 \log (38 \text{ KHz}) \\ &= 11.5 + 48 - 45.79 \\ &= 13.7 \text{ dB} \end{aligned}$$

2.3.2. Cálculo de la Figura de Mérito (G/T).

Haciendo uso de las ecuaciones de transmisión para la trayectoria de bajada de la sección 2.3.3 y el valor de C/N obtenido anteriormente, se tiene:

$$\frac{C}{N_T} = 13.7 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{C}{K T_B} \right)$$

o sea que, $\frac{C}{N_T} = 13.7 = 10 \log K + 10 \log B \dots$ dB
en donde N_T es el ruido total térmico de subida + intermodulación + térmico de bajada e igual a

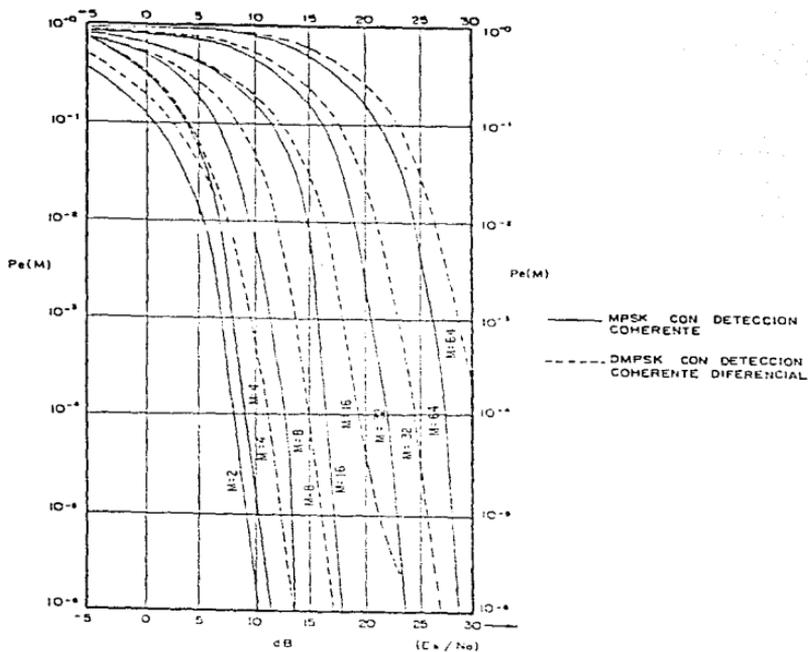


Fig. 2.3.1.a. COMPARACION DE SISTEMAS DE MODULACION MPSK CON DETECCION COHERENTE Y SISTEMAS DMPSK CON DETECCION COHERENTE DIFERENCIAL PARA VARIOS VALORES DE M.

10,000 pWop. (ver referencia No. 2 de este trabajo). Se recomienda además que a la trayectoria de bajada se le asignen solamente 4,000 de los 10,000 pWop. de tal forma que:

$$\begin{aligned} \frac{C}{T_b} &= \frac{C}{T_r} + 10 \log \left(\frac{10,000}{4,000} \right) \\ &= 13.7 + 10 \log (2.5) - 10 \log \left(\frac{1}{KB} \right) \end{aligned}$$

Como $K = 1.38 \times 10^{-23}$ W/°K y $B = 38$ KHz, se tiene que la relación mínima portadora/ruido en la trayectoria de bajada debe ser igual a:

$$\begin{aligned} \frac{C}{T_b} &= 15.27 + 10 \log (1.38 \times 10^{-23}) + 10 \log (38,000) \\ &= 17.68 - 230 + 20 \log (1.38) - 30 + 10 \log (38) \\ &= 17.68 - 230 - 1.4 - 30 + 15.3 \\ &= -165.12 \text{ dBW/°K} \end{aligned}$$

$$\frac{C}{T_b} = -135.12 \text{ dBm/°K}$$

$$\frac{C}{T_b} = P_s - A_b + \frac{G}{T} - M - \text{Pat}$$

en donde $M = \text{margen de lluvia} = 2 \text{ dB}$

$\text{Pat} = \text{pérdidas atmosféricas} = 1 \text{ dB por absorción.}$

$$P_s = \frac{C}{T_b} + A_b + M - \frac{G}{T} + \text{Pat}$$

$$P_s = -135.12 + 3 + A_b - \frac{G}{T}$$

*Nota: Obsérvese que no se incluye la potencia de salida de Back-off del transpondedor para operación multiportadora.

$$\begin{aligned}
 A_b &= \text{Pérdidas por atenuación en el espacio libre} \\
 &= 20 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) = 92.446 + 20 \log (f) + \\
 &\quad 20 \log (r)
 \end{aligned}$$

en donde f = frecuencia de operación de bajada
(GHz).

r = distancia de la estación terrena al
satélite (en Km)

Cálculo de pérdidas por atenuación:

a) Transmisión INTELSAT IV (F7) - CICESE.

$$\begin{aligned}
 A_{b_1} &= 92.446 + 20 \log (3.923) + 20 \log (40193.3004) \\
 &= 92.446 + 11.876 + 92.083 = 196.40 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

b) Transmisión INTELSAT IV (F7) - III.

$$\begin{aligned}
 A_{b_2} &= 92.446 + 20 \log (3.923) + 20 \log (33291.8205) \\
 &= 92.446 + 11.876 + 91.66 = 195.98 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el peor de los casos corresponde a la atenuación por trayectoria satélite-CICESE, en donde se requiere una potencia mínima del satélite igual a:

$$\begin{aligned}
 P_s &= -137.3 + 3 - A_{b_1} - \frac{G}{T} \\
 &= -137.3 - 3 + 196.40 - \frac{G}{T} \\
 &= 51.9 - \frac{G}{T}
 \end{aligned}$$

De acuerdo al Anexo I, la potencia isotrópica radiada efectiva por transpondedor para haz pincel del INTELSAT IV es igual a 33.7 dBW (33.7 dBW = 2344.22 watts).

Si se hace la suposición de que el transpondedor tendrá 300 canales de asignación fija en SCPC, entonces a una sola portadora le correspondería una potencia igual a:

$$\begin{aligned} P_{\text{portadora}} &= 10 \log \left(\frac{2344.22}{300} \right) \dots \text{dBW} \\ &= 3.93 \text{ dBW} \\ &= 38.93 \text{ dBm} \end{aligned}$$

De aquí que el valor mínimo de C/N_f que se requiere para una estación terrena que reciba una sola portadora con un ancho de banda de r.f. de 36 KHz es de:

$$C/N_f = 61.9 - 38.93$$

$$C/N_f = 22.97 \text{ dB/K Para la estación CICESE}$$

$$C/N_f = 61.46 - 38.93 = 22.53$$

$$C/N_f = 22.53 \text{ dB/}^\circ\text{K Para la estación I.I.E.}$$

En la práctica, una figura de mérito mayor o igual a 23 dB/°K se considera favorable para bajo tráfico, ya

que permite economías en el sistema al utilizarse platos de aproximadamente 5 mts. de diámetro. Nótese que este es un cálculo aproximado, ya que el verdadero G/T requerido dependerá del uso que se le de a todo el transpondedor empleado (para determinar el número de portadoras y potencia por portadora) y la capacidad de recepción de cada estación.

2.3.3. Cálculo de la ganancia y diámetro de la antena.

La ecuación que relaciona la ganancia de una antena parabólica con su diámetro es la siguiente:

$$G = 10 \log \left(\frac{K \pi^2 D^2}{\lambda^2} \right) \dots \dots \dots (\text{dB})$$

en donde: G = ganancia de la antena (dB)

K = factor de eficiencia de la antena
= 45-60%, rango típico.

D = diámetro de la antena (mts)

λ = longitud de onda a la frecuencia de operación (mts)

$$= \frac{C}{F} = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{frecuencia de operación}}$$

En la práctica, un factor de eficiencia de antena del 55% es considerado como cifra típica, y la ecuación para la ganancia de la antena, se puede expresar también como:

*Nota.- Al hacer los cálculos con los parámetros del Sistema Mcrelon, los platos se pueden reducir aprox. a 3m. de diámetro, ya que el PIRE es de 38 dBW para un transpondedor de -- 36 MHz.

$$G = (60) (f^2 d^2) \quad (15)$$

expresada en decibeles, se tiene:

$$G = 17.83 + 20 \log (D) + 20 \log (f) \dots \text{dB} \quad (16)$$

y para una frecuencia de recepción de 3.925 GHz, el diámetro de la antena se calcula mediante la expresión siguiente:

$$D = \text{antilog} \left(\frac{G-17.83}{20} \right) \dots \text{mts} \quad (17)$$

Asimismo para la frecuencia central de transmisión de 6.175 GHz, se tiene que la ganancia de la antena es igual a:

$$G = 23.64 + 20 \log (D) \dots \text{dB} \quad (18)$$

En la figura 2.3.3.a se muestra un nomograma que permite calcular fácilmente la ganancia de una antena uniendo los puntos conocidos de frecuencia y diámetro y leyendo sobre el punto de cruce con la escala de ganancia. De igual manera, si se conoce la frecuencia y un valor determinado deseable de ganancia, el diámetro requerido se puede leer sobre el punto de intersección correspondiente.

En la tabla 2.3.3.a se indican con fines meramente ilustrativos, algunos valores típicos de combinaciones diámetro de antena/temperatura de ruido del receptor para lograr figuras de mérito G/T de 23 dB/°K

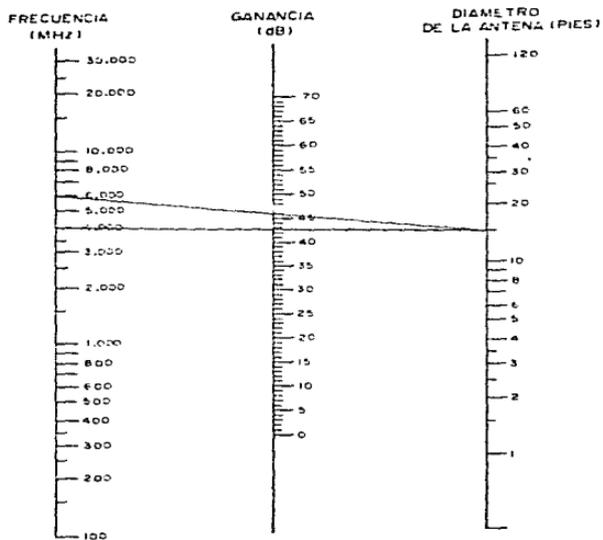


Fig.2.3.3.a. *NOMOGRAMA DE GANANCIA DE UNA ANTENA PARABOLICA.*

Temperatura del sistema (°K)	Diámetro de la antena (m)	Ganancia de la antena en recepción (dB)	Ganancia de la antena en transmisión (dB)
85	4.0	42.5	46
100	4.7	43	47
120	5.1	43	48

Tabla 2.3.3.a.- Diámetro y ganancia de la antena de la estación terrena para una figura de mérito de --- 25 dB/°K.

Como se observa en la tabla 2.3.3 a se tiene una diferencia de ganancia de la antena en transmisión y recepción --- de aproximadamente 4 dB para antenas operando en la Banda C.

2.3.4.- Cálculo de la potencia del transmisor (P_T)

La ecuación para calcular la potencia del transmisor es - la siguiente:

$$P_T = (P_r - P_b) - P_c + G \dots \text{dBW} \quad (19)$$

en donde: P_r = Potencia radiada direccional de la estación te - rrena . . . (dBW)

- P_t = Potencia nominal de transmisor . . . (dBW)
- P_c = Pérdidas en las guías de onda.
= 1 dB
- G = Ganancia de la antena a la frecuencia de transmisión (dB)
- P_b = Potencia de back-off de salida del amplificador.
= 5 dB, cifra típica, en operación multiportadora.

Para determinar P_t para un número especificado de canales de voz o de datos, se deben de sumar las potencias requeridas por cada canal. Si se considera operación SCPC, con N canales de voz y/o de datos, la potencia nominal del transmisor se puede calcular como:

$$P_t = (\text{pot. por canal} + 10 \log N + P_c - P_b) - G \dots \text{dBW} \quad (20)$$

En la figura 2.3.4.a se muestra esquemáticamente el modelo empleado para el cálculo de la potencia del transmisor.

Los resultados (para las estaciones terrenas IIE-CICESZ) del cálculo de la potencia del transmisor son obtenidos del programa de computadora que se incorpora en el anexo II de este trabajo y son presentados en la tabla 2.3.4.a.

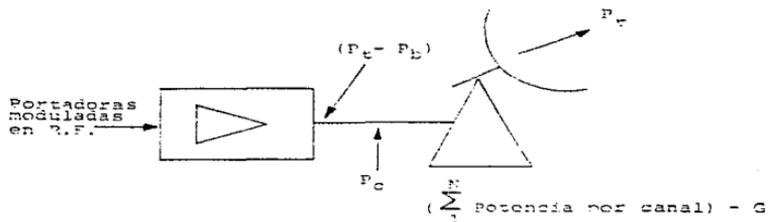


Fig. 2.3.4.a.- Modelo para el cálculo de la potencia del transmisor.

Nótese que a pesar de que la temperatura del sistema se incrementa, disminuye la potencia nominal del amplificador. Esta degradación de la señal en recepción se tendrá que compensar -- (para mantener un BER de 10^{-6}) con el incremento de otro parámetro que según la tabla 2.3.4.a viene a ser el diámetro de la -- antena.

En Ingeniería, es práctica común el compromiso costo-beneficio en el diseño de sistemas " para este caso en particular, -- podría resultar más económico incrementar la potencia del transmisor manteniendo el diámetro de la antena fijo; la decisión se deberá tomar en la evaluación técnico-económica de ofertas presentadas por los diversos proveedores que concursan para el suministro del equipo requerido en este proyecto experimental.

Estación	Potencia radiada por canal (dBW)	Gainancia de la antena a 5 GHz (dB)	Temperatura de ruido del ABR (°K)	Diámetro de la antena (Mts)	Potencia mínima del amplificador. (Watts)
I.I.E.	48.5	46.54	85	4.42	12.53
C.I.C.E.S.E.	48.2	46.24	85	4.30	12.53
I.I.E.	48.3	47.24	100	4.80	10.66
C.I.C.E.S.E.	48.2	46.94	100	4.62	10.66
I.I.E.	48.5	47.94	120	5.20	9.07
C.I.C.E.S.E.	48.2	47.74	120	5.10	9.07

Tabla 2.3.4.a.- Potencia nominal del amplificador para canales con ancho de banda de 45 KHz.

Otro comentario de los resultados obtenidos para la -- potencia nominal del amplificador, es que se podrán utilizar - amplificadores de potencia de estado sólido para las estaciones terrenas IIE-CICESE.

2.4.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA EL CALCULO DE ENLACES VIA SATELITE.

El Grupo de Radio del Departamento de Comunicaciones del IIE ha desarrollado un programa de computadora para -- el cálculo de enlaces "via satélite, el cual se incorpora -- en el anexo II de este trabajo." El diagrama de bloques -- correspondiente se muestra en la figura 2.4.a.

COMENTARIOS

Estación Terrena:

- a) Ángulo de elevación .- Depende de la localización geográfica de la estación y su posición relativa respecto al satélite geostacionario.
- b) Ancho de Banda de ruido y espaciamiento entre canales en el transpondedor.- Existe una relación directa entre estos parámetros, de acuerdo a la técnica de transmisión usada. Para canales SCPC se -- tienen las relaciones siguientes:

*Nota.- El autor de esta tesis participó en el desarrollo de dicho programa

Ancho de Banda de Ruido (KHz)	Espaciamiento entre canales (KHz)
18.75 -----	23.5
22.5 -----	30.0
38.0 -----	45.0

c) Relación requerida de portadora/ruido (C/N).- Es función del esquema de modulación, de la cantidad de información transmitida y del ancho de banda del canal.

Satélite:

- d) Haz de iluminación.- Puede ser global, hemisférico o pincel, siendo este último el de interés. En el programa se tienen asignados diferentes niveles de densidad de flujo de potencia (dBW/m^2) en función del tipo de haz utilizado.
- e) % del Transpondedor.- El programa está estructurado para operar con diferentes porcentajes de ancho de banda del transpondedor, para darle flexibilidad a sistemas de mayor capacidad, en donde por ejemplo podría rentarse $\frac{1}{4}$ de transpondedor.

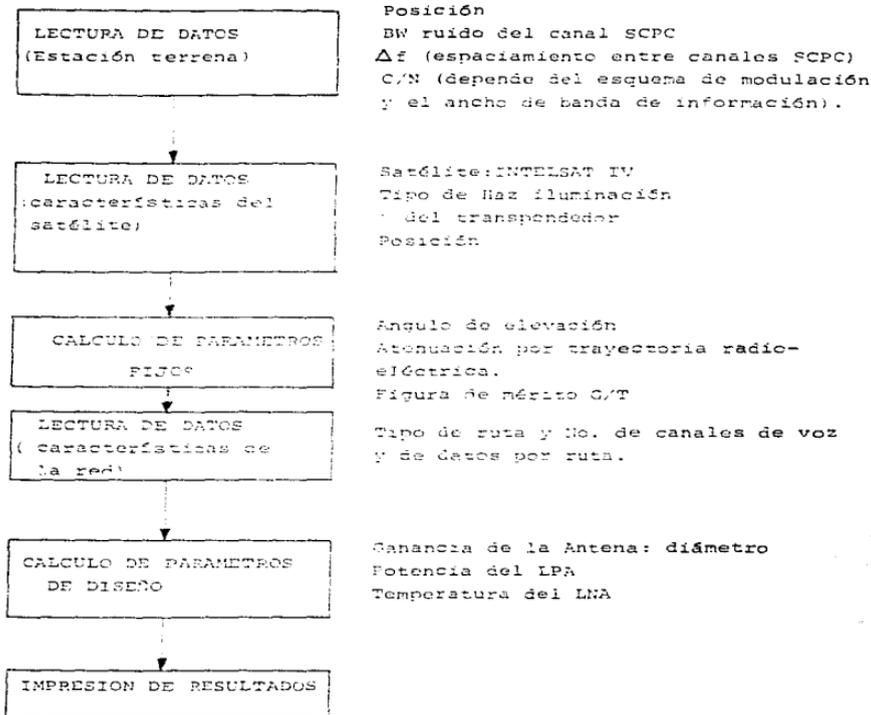


Figura 2.4.a.- Diagrama de bloques del programa de computadora para el cálculo de enlaces vía satélite.

CAPITULO 3.- ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y APLICACIONES.

3.0 INTRODUCCION.

En el capítulo 1 de este trabajo, se definió que la técnica de procesamiento de banda base, radio frecuencia y acceso múltiple será PCM/4-PSK/SCPC con portadoras a -- 64 Kbps (para las estaciones terrenas IIE-CICESE), estándar aprobado por la Organización Internacional de Satélites de Telecomunicación, INTELSAT. Asimismo, se encontró disponible el satélite INTELSAT IV, localizado a 307° Longitud Este y que hacia 1984 era utilizado por la S.C.T., en el Conjunto Nacional de Telecomunicaciones (CONTEL), ubicada en Iztapalapa, D.F. para la transmisión de TV a la - República Mexicana.

El capítulo 2 trató con el cálculo del enlace, definiendo el criterio de calidad para el canal de datos (probabilidad de error) y calculando los parámetros de diseño tales como C/N (relación de portadora/ruido), figura de mérito (G/T), ángulo de elevación para las estaciones -- terrenas y el nivel de potencia del transmisor para las - portadoras requeridas. Se utilizó como apoyo al diseño - del enlace, un programa de computadora desarrollado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

En este capítulo se desarrolla la configuración preliminar del sistema de transmisión, a partir del procesamiento en banda base para el canal de voz y de datos. Se analiza la configuración típica del equipo SCPC/4-PSK y sus aplicaciones, y se proporcionan las configuraciones y aplicaciones de los subsistemas de R.F., F.I., subsistema de control de reloj y equipo de soporte. El material presentado se basa en información técnica por fabricantes de sistemas de prestigio internacional, principalmente de la compañía norteamericana HARRIS (División Satélites).

3.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA.

La operación del enlace experimental consiste básicamente en la transmisión de un canal de voz codificado a 64 K/seg. utilizando la técnica de transmisión por activación de voz, y de un canal de datos hasta una velocidad de 9600 bit/seg considerado como un canal dedicado full-duplex. En la figura 3.1.a se muestra el concepto operacional del enlace.

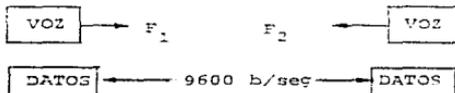


Fig. 3.1.a Concepto operacional del enlace.

3.2 CONFIGURACION PRELIMINAR DEL SISTEMA DE TRANSMISION.

El equipo de comunicaciones necesario en una estación terrena, puede ser agrupado dentro de los siguientes subsistemas:

- a) Subsistema de R.F. (antena, amplificadores de potencia y de bajo ruido).
- b) Subsistemas SCPC y de banda base (códigos, modems, y conversores de frecuencia de subida y bajada).
- c) Subsistema de control de reloj : sincronizadores)
- d) Equipo de soporte (gabinete, casetas) .

Adicionalmente se requiere de fuentes de alimentación (usualmente de configuración redundante), equipo de monitoreo, prueba y mantenimiento y equipo de acondicionamiento ambiental.

En la figura 3.2.a, se muestra el diagrama de bloques transmisión/recepción de la configuración preliminar de la estación terrena del IIE y se aplica de manera similar a la estación terrena del CICESE.

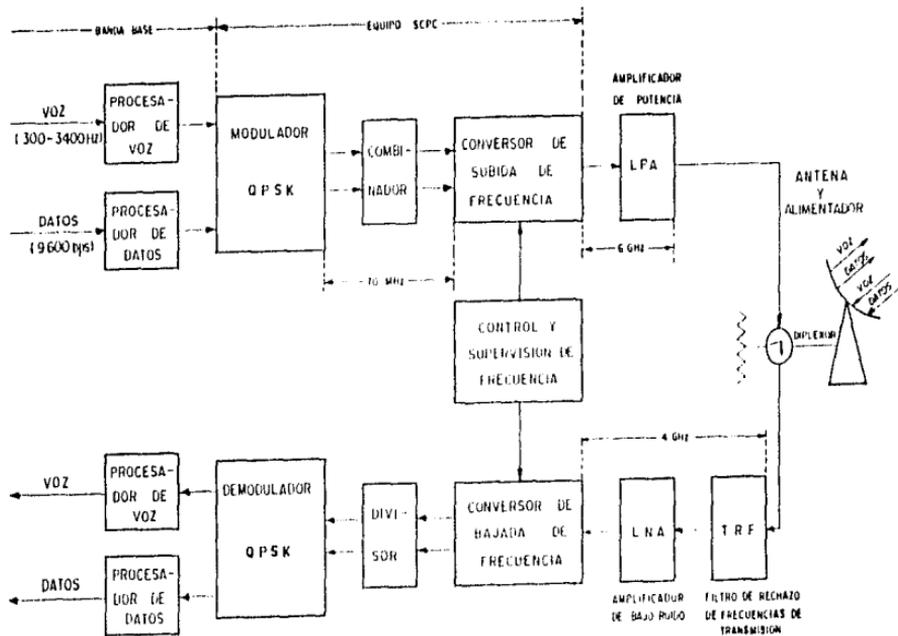


Fig. 3.2.0. - DIAGRAMA DE BLOQUES TRANSMISION / RECEPCION DE LA ESTACION TERRENA DEL I.E.

A continuación, se describen cada uno de los subsistemas:

-Antena.- La forma del reflector y el diseño del alimentador dependen del fabricante, pero el objetivo principal es el mejoramiento en la ganancia, polarización y reducción de los lóbulos laterales de la antena. La configuración de mayor uso es del tipo Cassegrain. Aunque en menor grado de implantación, se encuentran la antena Gregoriana y la parabólica primaria.

-Alimentador de dos puertos.- El subsistema alimentador comprende todos los componentes que dirigen la potencia de transmisión hacia el subreflector, y la potencia de recepción desde el subreflector hasta la brida de entrada del subsistema LNA (ABR). Esto incluye el conjunto diplexor, transductor ortomodal (OMT), la bocina cónica multicanal, el tubo de soporte, el subreflector, el polarizador de banda ancha y todos los demás accesorios requeridos para las operaciones normales del alimentador. El alimentador transmisión/recepción deberá cumplir con los requisitos de relación axial para la operación con el satélite INTELSAT IV.

El polarizador circular podrá sustituirse fácilmente con una gufa de onda recta para permitir la operación con los satélites mexicanos polarizados linealmente.

- Control de antena.- La posición del satélite INTELSAT IV se controla únicamente bajo los límites de $\pm 0.5^\circ$, por lo tanto, es necesario la utilización de un sistema de seguimiento. Esta característica no será necesaria en los satélites domésticos mexicanos.

- Preamplificador de bajo ruido, LNA (ABR).- El preamplificador de bajo ruido se configura en forma redundante y la temperatura de ruido dependerá de la tecnología utilizada por el fabricante. El LNA típicamente se instala atrás del reflector parabólico.

- Amplificador de baja potencia (LPA).- Debe tener configuración redundante y puede utilizar tecnología de estado sólido tipo GaAsFET, de alta confiabilidad y bajo consumo de energía .

- Equipo SCPC.- Para estaciones terrenas pequeñas, como las de IID y CICESE, el equipo SCPC integra al modem de R.F. (PSK) y los conversores de frecuencia (subida y bajada) en una sola unidad. Usualmente se utiliza configuración redundante.

-Equipo Procesador de voz.- Este proporciona la interfase entre el equipo digital de la estación terrena y la señal telefónica proveniente de un conmutador e un dispositivo telefónico.

-Equipo procesador de datos.- Dado que solamente se diseñó el sistema para un canal duplex de datos, no se requerirá multiplexor y la señal digital podrá utilizar una interfase para entrar al modem de radio frecuencia, como es el caso del codificador con corrección de errores del tipo 7/8, que proporciona una mejora en el funcionamiento (reduce los errores en recepción) sin incrementar los requisitos de potencia, aunque sí aumenta el ancho de banda requerido.

3.3. CONFIGURACIONES TÍPICAS DE LOS SUBSISTEMAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS IIE- CICESE.

3.3.1 Subsistema de antena y alimentador.- La configuración de antena y alimentador que se describe, es del tipo Cassegrain, ya que es lo más utilizado y sus componentes se presentan en la Fig. 3.3.1.a. El subsistema alimentador del tipo Cassegrain consiste de un subreflector, bocina alimentadora (radiador primario), polarizador de banda ancha y un trans-

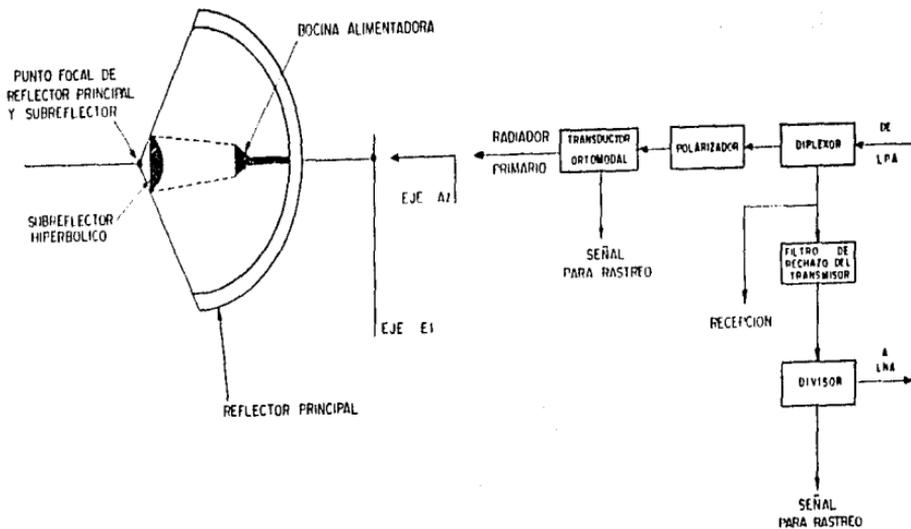


Fig. 3.3.1. a. - CONFIGURACION TIPICA DE UNA ANTENA CASSEGRAIN Y EL SUBSISTEMA ALIMENTADOR.

ductor ortomodul para transmisión/recepción. La bocina alimentadora ilumina el subreflector suministrando alta ganancia, bajos lóbulos laterales y muy baja temperatura de ruido.

El polarizador de banda ancha, proporciona polarización circular de mano derecha y de mano izquierda, para ambas bandas de frecuencias (tanto de transmisión como de recepción). Mediante rotación axial de 90° del polarizador, se puede seleccionar polarización circular de mano derecha para recepción con polarización circular de mano izquierda para transmisión, y/o polarización circular de mano izquierda para recepción con polarización de mano derecha para transmisión.

El transductor ortomodul separa las funciones de transmisión y recepción en los puertos ortogonales. El subsistema LNA se puede montar en la parte trasera de la antena, con protección contra las condiciones ambientales. El subsistema LPA se puede ubicar dentro del cono del alimentador o puede montarse en la parte trasera de la antena.

El diplexor canaliza las señales de recepción y de transmisión.

3.3.2 Subsistema de amplificador de potencia (LPA).

Las estaciones terrenas frecuentemente usan amplificadores de tubos de ondas progresivas (TWT) como el amplificador de potencia para la trayectoria de subida. Los TWT's son dispositivos de banda amplia (broad band) que pueden cubrir la banda entera de satélites en la banda (5.9 - 6.4 GHz) con un solo amplificador, como se muestra en la -- Fig. 3.3.2.a con una etapa excitadora anterior. Cuando más de un canal es activado en el proceso de transmisión, el amplificador de potencia no puede ser operado en su punto de saturación, debido a las frecuencias de intermodulación generadas en el dispositivo, que causan interferencia entre canales. Por lo tanto, cuando se elige el nivel de potencia del amplificador, varios dB de back-off en la salida, deben ser permitidos. El amplificador de potencia debe operar a un back-off de salida que cumpla con los requerimientos para tolerar los productos de intermodulación en banda y fuera de banda.

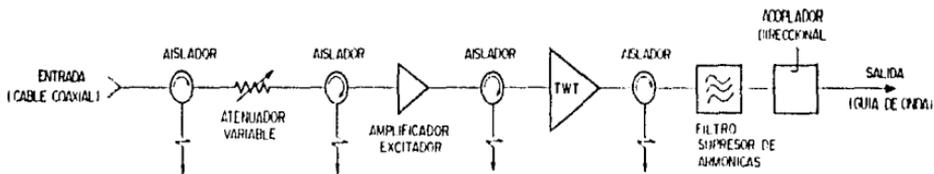


Fig. 3.3.2.a. — DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN AMPLIFICADOR TWT.

Desarrollos recientes en dispositivos de estado sólido utilizando tecnología GaAsFET, hacen disponibles amplificadores de baja potencia (hasta 20 watts) cuyas aplicaciones son para estaciones terrenas de muy bajo tráfico y/o estaciones terrenas desatendidas. La configuración redundante del subsistema de amplificador de potencia se emplea para mejorar la confiabilidad de la estación terrena. En la figura 3.3.3.b. se muestra la configuración típica para aplicaciones de baja potencia del subsistema amplificador.

3.3.3.- Subsistema de preamplificador de bajo ruido.

Otro dispositivo en constante evolución tecnológica es el preamplificador de bajo ruido (a nivel experimental se tienen prototipos a 40 GHz). La buena operación y calidad de los preamplificadores de bajo ruido es necesaria para llevar a cabo la figura de mérito (G.T) requerida para recibir la señal proveniente del satélite con antena de tamaño modesto. Comercialmente se encuentran disponibles en la banda C, preamplificadores de bajo ruido en el rango entre 85°K-120°K sin requerir equipo de enfriamiento y con ganancias de 50 dB.

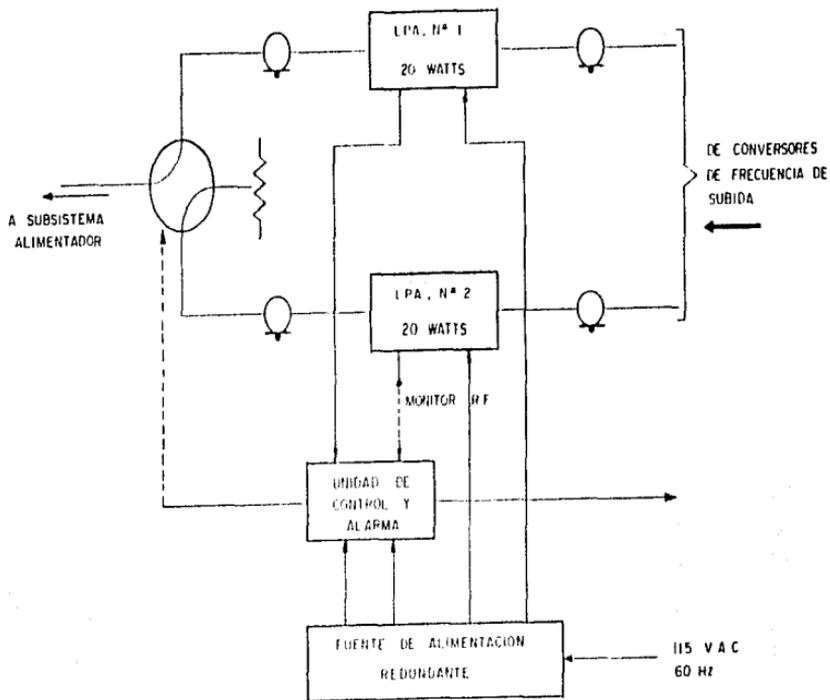


Fig. 3.3.2.b.- CONFIGURACION REDUNDANTE DEL SUBSISTEMA DE AMPLIFICADOR DE BAJA POTENCIA.

En la figura 3.3.3.a se muestra la configuración típica utilizada para el subsistema de preamplificador de bajo ruido en estaciones terrenas transmisión/recepción, también redundante.

3.3.4.- Subsistemas SCPC y de banda base.

El equipo SCPC hace uso de una portadora separada de r.f. por cada canal de voz o datos. Las portadoras son moduladas en fase dependiendo del diseño del equipo. En los sistemas en que se requieren transmitir unos cuantos canales, las portadoras pueden ser operadas en modo de pre-asignación. En sistemas donde un número grande de canales debe ser manejado, el equipo SCPC es usualmente aumentado por el equipo de acceso múltiple por asignación por demanda (DAMA). En este modo de operación, las frecuencias de los canales son asignadas a los usuarios por control de computadora de acuerdo al tráfico requerido.

Los canales SCPC/DAMA son asignados de acuerdo a un ancho de banda disponible en el transpondedor y canalizados mediante un canal de señalización común, convirtiendo a este tipo de acceso múltiple en una mezcla de FDMA y TDMA por medio de la cual, usuarios diferentes pueden usar un mismo canal en tiempos dife-

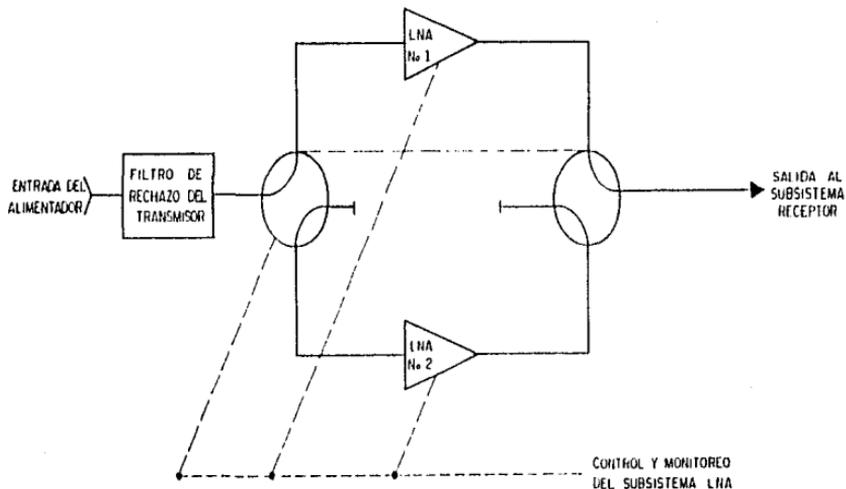


Fig. 3.3.3.a.- DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CONFIGURACION REDUNDANTE DEL SUBSISTEMA LNA.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

rentes. Una ventaja importante del equipo SCPC es la relativa facilidad en que el número de canales puede ser incrementado. El equipo está compuesto en la forma de equipo común más equipo de canal. El equipo de canal es añadido conforme el tráfico se incrementa.

EQUIPO SCPC/PSK

La operación SCPC digital usando satélites INTELSAT está basada sobre la técnica de modulación 4-PSK con detección coherente. Un diagrama de bloques funcional de una estación terminal PCM/4-PSK/SCPC es proporcionado en la figura 3.3.4.a.

El tráfico de voz es manejado como sigue:

Un par de unidades para transmisión/recepción proporcionan codificación y decodificación digital de la voz analógica, sincronización digital y modulación/demodulación de la información de entrada y salida.

La entrada al codificador PCM es voz analógica en la banda de 300-3400 Hz. El codificador proporciona una compresión de nivel de acuerdo a la ley A estandarizada. La señal analógica es muestreada a 8 KHz. Cada muestra es descrita por 7 bits.

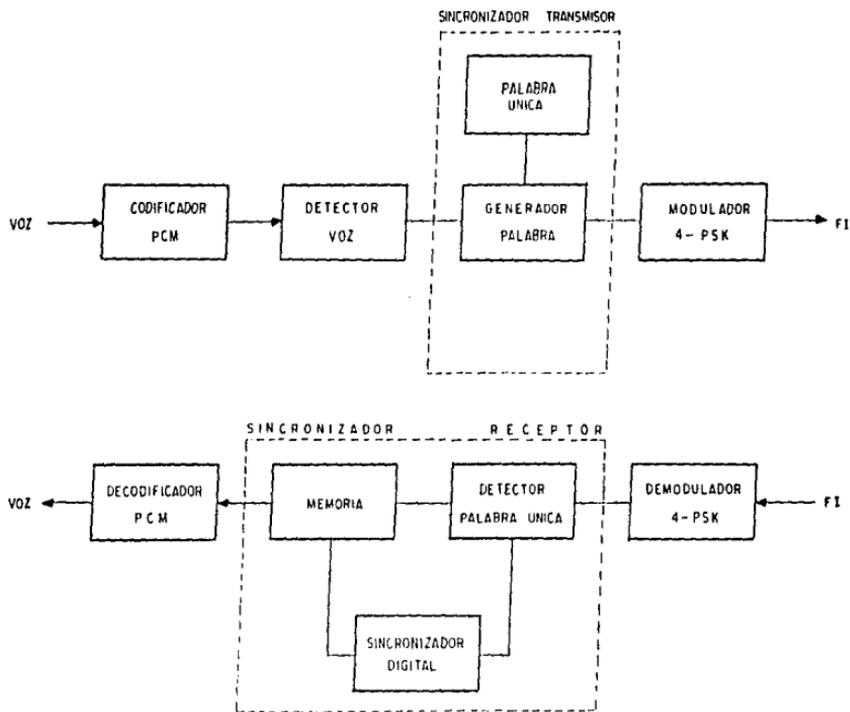


Fig. 3.3.4. a. - DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA UNIDAD DE CANAL DEL SUBSISTEMA PCM / 4-PSK.

La salida del codificador es 56Kbps. El sincronizador digital detecta la voz digitalizada, estructura el tamaño de la palabra y proporciona un control de reloj a la entrada y a la salida de la información. El detector de voz desconecta la potencia a la portadora cuando no es usada. El generador de palabras genera un patrón único de bits que son remuestreados para la señal portadora, la recuperación del reloj y para resolver las ambigüedades en el receptor. Debido a la necesidad de añadir bits, la tasa de bits total transmitidos es de 64 Kbps. La portadora transmitida y los bits para el control del tiempo deben ser recuperados coherentemente al inicio de cada ráfaga (burst) de bits. La detección simultánea de dos patrones únicos de bits son usados para resolver las ambigüedades de fase de la portadora recuperada 4G PSK.

Tráfico de datos (1200 a 9600 bps), pueden también ser procesados por una unidad de canal PCM/4-PSK. Sin embargo, el detector de voz debe ser puenteado para permitir la transmisión continua. El flujo de datos de entrada es muestreado como una señal analógica por el codificador PCM. Esta configuración proporciona capacidad de tráfico

de datos a través de una unidad de canal de voz PCM estándar. La tasa de transmisión de un canal de voz estándar es 64Kbps (basados sobre datos a 56 Kbps). Tasas inferiores de datos pueden ser manejadas por varias técnicas. Un método, es usar un modem no estándar y transmitir los datos a una tasa de transmisión no estándar (por que el sincronizador, con sus palabras únicas, usará la tasa de datos de entrada). Otro método, es convertir la tasa baja de datos a la tasa de transmisión estándar por medio de un código, tal como un código convolucional. La ventaja de esta técnica, es que la codificación añadida mejorará la tasa de bits en error (BER), con el inconveniente de incrementar el ancho de banda del canal. Cuando se usan modems estándares para tasas bajas de datos, la tasa de transmisión reconstruida debe ser suficientemente cercana a la tasa de transmisión estándar (64Kbps) para permitir un funcionamiento adecuado a los modems de radio frecuencia estándares.

- 3.3.4.1.- Subsistema de Conversor de Subida de Frecuencia.-En la mayoría de las estaciones terrenas pequeñas (estaciones con antenas en el orden de 5 Mts. de diámetro) el conversor de frecuencia de subida/bajada esta integrado dentro del equipo de procesamiento de señales. En estaciones terrenas grandes (con antenas de 30 Mts. de di-

metro) el convertidor de subida/bajada es una unidad separada. Una razón para usar una unidad separada es permitir una rápida y exacta sintonización a cualquier transpondedor del satélite requerido. Los convertidores de subida son disponibles en dos tipos. Un tipo incluye amplificador excitador (driver amplifier) y puede ser usado directamente con amplificadores de alta potencia. El segundo tipo de convertidor no tiene amplificador excitador y solo es adecuado para aquellos amplificadores que tienen su propia etapa excitadora. Un diagrama de bloques de un convertidor de subida típico se muestra en la figura 3.3.4.1.a. La señal de FI de 70 MHz es aplicada a un igualador de retardo (puede ser reemplazado por un puente coaxial si la igualación no es requerida). El filtro de FI elige la señal deseada de la portadora más próxima. El filtro es disponible en anchos de banda de 1.25 a 36 MHz (anchos de banda especificados por INTELSAT). La señal de 70 MHz pasa del filtro a una red acoplada y un atenuador dentro de un mezclador doble con diodo, que convierte los 70 MHz a 750 MHz. Un oscilador de FI (115 MHz) y un multiplicador (multiplicación de la frecuencia del oscilador por 6 veces) proporcionan la conversión de la señal. El mezclador es seguido por un aislador de ferrita,

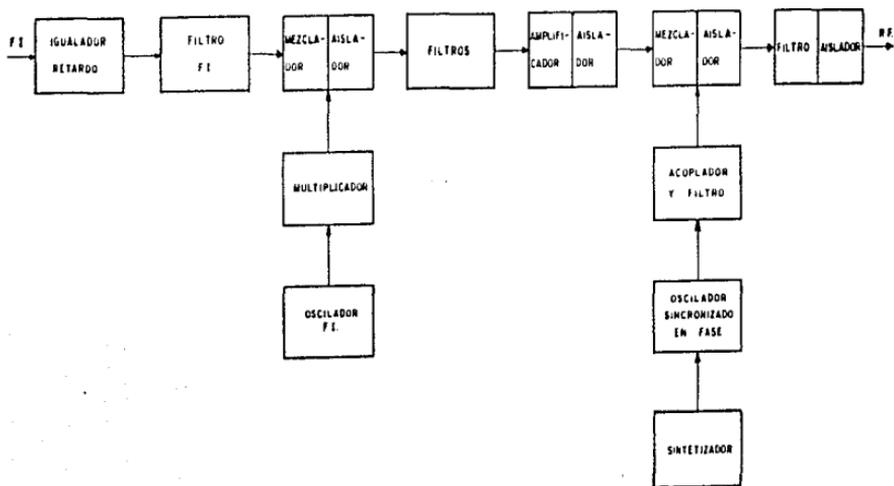


Fig. 3.3.4.1. a - DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONVERTOR DE FRECUENCIA
DE SUBIDA PARA LA BANDA DE FRECUENCIAS DE 5.925-6.425 GHz

un atenuador ajustable, y filtros para suprimir los residuos del oscilador, la frecuencia imagen y los productos indeseables del oscilador (señales armónicas y espurias). La señal de 750 MHz es entonces amplificada, aislada y mezclada para formar el espectro de la señal a la frecuencia de transmisión. La frecuencia de la señal a transmitir es determinada por la frecuencia del segundo oscilador local con un circuito sincronizado en fase, que tolera ajustes de sintonía. Se puede usar un oscilador de referencia único o doble o sintetizador.

- 3.3.4.2.- Subsistema de Conversor de Bajada de Frecuencia.- Los convertidores de bajada de frecuencia utilizados actualmente en los sistemas de estaciones terrenas emplean el método de doble conversión, teniendo la primera frecuencia intermedia dentro de la banda L (la frecuencia de 1,100 MHz es un ejemplo típico). Los mezcladores que bajan la frecuencia de 4 GHz generalmente emplean un filtro pasa-banda de 500 MHz para eliminar el ruido contenido en las frecuencias adyacentes así como las señales espurias, antes de la primera etapa mezcladora que baja la señal a 1,100 MHz. Posteriormente, se tiene un

amplificador de banda L y un filtro de rechazo pasa-banda seguidos por una conversión heterodina a 70 MHz utilizando un oscilador local de 1,170 MHz. Este segundo oscilador local está referido a la frecuencia del primer oscilador local para eliminar cualquier posibilidad de deriva. Una diferencia importante que existe entre las estaciones terrenas y una estación repetidora de microondas es el grado de flexibilidad que debe suministrarse para operar frecuencias de RF variables. Los equipos de radio en las repetidoras de microondas tienen asignada una frecuencia fija de operación, de acuerdo con un plan de frecuencias regional que por lo general se mantiene durante la vida útil del equipo. Para estaciones terrenas pequeñas, se requieren algunos cambios en las frecuencias de transmisión y recepción conforme su volumen de tráfico y destinos se expanden, y cuando la configuración de la red sufre cambios importantes. Las estaciones terrenas que operan en el modo de canal único por portadora (SCPC) con acceso por llamada, requieren comunicación instantánea con cientos de pares de frecuencias para transmisión y recepción que son asignadas por computadoras de un conjunto de canales disponibles. Por consecuencia, es muy común encontrar un sintetizador de frecuencias haciendo las veces de oscilador local variable, alimentando al conversor. Una estación maestra,

en la red de acceso por demanda, transmite una portadora piloto que es detectada en las otras estaciones en la red donde las referencias de la frecuencia local estarían sincronizadas con la frecuencia piloto. La tecnología empleada en los conversores de frecuencia, contiene una gran variedad de técnicas de diseño de circuitos que son comunes a la electrónica tradicional en las comunicaciones. Ninguna de las técnicas es particularmente nueva y exclusiva para las estaciones terrenas. La implantación del diseño puede variar considerablemente dependiendo del diseñador, la calidad de las componentes, y en el ruido que se tenga en la alineación y fabricación. El equipo diseñado para frecuencias más altas (en la banda Ku) requerirá transistores estables, confiables, y de bajo ruido, capaces de operar a frecuencias de corte más altas que las actuales.

3.3.5.- SUBSISTEMA DE CONTROL DE RELOJ.

La comunicación entre terminales de datos requiere de la coordinación del dato recibido con el dato enviado. Esta coordinación o sincronización se aplica a dos tipos de transmisión de datos estándares: la transmisión asincrónica a la transmisión sincrónica. Si un bit de ini-

cio y uno de terminación son usados para enmarcar el dato, la transmisión se denomina asíncrona. Los sistemas síncronos por su parte, requieren del uso de dispositivos de reloj, los cuales mantienen al transmisor y receptor operando a una velocidad de transmisión y fase constantes. La transmisión asíncrona es generada típicamente para terminales de baja capacidad, con velocidades hasta de 1,100 bps. En un sistema asíncrono, durante el tiempo desocupado, el transmisor envía un nivel de señal alto (estado binario alto) por lo que cada carácter transmitido es precedido por un bit de inicio o una transición de nivel alto a nivel bajo. Esto indica a la terminal receptora que un nuevo carácter será enviado. Los dispositivos de recepción detectan el bit de inicio y los bits que constituye el carácter. Al final de la transmisión de éste, el transmisor retorna a la condición de tiempo desocupado, durante el período de uno o más bits, preparando al sistema para el siguiente carácter. Este proceso se repite carácter por carácter hasta que el mensaje completo ha sido enviado. Los bits de inicio y terminación permiten al receptor sincronizarse carácter por carácter. La transmisión síncrona, usualmente hace uso de un sistema de reloj dentro del modem para sincronizar el transmisor con el receptor.

Una vez que un caracter especial (SYN) ha sido detectado por la terminal receptora, la transmisión de datos se efectúa enviando caracter por caracter sin la intervención de bits de inicio y terminación. La terminal receptora acepta los datos provenientes del modem solo si detecta el caracter de sincronía (SYN), indicando que el mensaje anterior ha concluido. La transmisión asincrónica presenta ventaja cuando la comunicación es discontinua, como es el caso de la información procedente de un teclado de terminal de computadora; resulta además poco costosa, debido a la simplicidad de la circuitería requerida. Por otro lado, la transmisión sincrónica aumenta la eficiencia de la transmisión, por el hecho de suprimir los bits de inicio y terminación. Más aún, la transmisión sincrónica permite que esquemas de modulación multiniveles sean posibles, los cuales combinan 2, 4 y 8 bits en cada elemento de transmisión (BAUD). Esta puede facilitar velocidades de 4,800 ó 9,600 bps sobre un canal de 1,200 bauds. Los modems sincrónicos resultan costosos precisamente por la necesidad de sincronización de reloj y datos.

3.3.6.- EQUIPO DE SOPORTE.

El equipo de soporte en una estación terrena comprende los siguientes subsistemas: subsistema de aire artificial, subsistema de presurización para la guía de onda, subsistema de protección contra descargas atmosféricas, subsistema de iluminación, generadores de energía eléctrica y banco de baterías, subsistemas de monitoreo y alarma, equipo contra incendio, gabinetes para el equipo electrónico y subsistema de control automático de rastreo en caso necesario. Típicamente, se requiere del uso de casetas para la instalación de estaciones terrenas. Los materiales estándares para la construcción de casetas son dos principalmente: fibra de vidrio reforzado con poliester y de concreto. Estos materiales son altamente resistentes a prueba de agua, y proporcionan excelentes características de aislamiento al medio ambiente.

**CAPITULO 4.- ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL SISTEMA
DE ESTACIONES TERRENAS IIE-CICESE.**

4.0 INTRODUCCION.

El objetivo de este capítulo, es presentar una guía respecto a las especificaciones técnicas que debe satisfacer el sistema y que servirán de base para la presentación de una oferta. Se asume que los subsistemas y sus consecuentes niveles de especificación, caen dentro de un contexto comercial y de ninguna manera se desea utilizar una tecnología especial.

4.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.

- A.- Tanto la instalación como la operación y mantenimiento de las estaciones terrenas, deberá ser tan simple como sea posible, no siendo necesaria ninguna herramienta especial y serán instalados por personal no especializado.
- B.- La disponibilidad del servicio deberá ser del 99.99% o mayor, para poder lograr el mínimo de mantenimiento de las estaciones IRE-CICESP.
- C.- La estación terrena será redundante automática 1+1 para los equipos electrónicos comunes como son los preamplificadores de bajo ruido, los amplificadores de potencia, excitadores y receptores.
- D.- Los equipos que forman la estación terrena deberán estar integrados totalmente por componentes en estado sólido para una operación y mantenimiento sencillo.
- E.- El diseño de las estaciones terrenas deberá ser tal, que sea mínimo el consumo de energía eléctrica.
- F.- En el diseño deberá considerarse la señalización EYM con conexión en 2 y/o 4 hilos.

G.- Es muy importante para este proyecto ahorrar la mayor capacidad posible del transpondedor, sin que la calidad del servicio tanto de voz como de datos baje a niveles de calidad inaceptables.

4.2.- TIPO DE SATELITE EMPLEADO.

Se utilizará un satélite tipo INTELSAT IV haciendo uso de transpondedor haz pincel, cuyos parámetros principales son los siguientes:

-Densidad de flujo de iluminación a la antena receptora del satélite para saturación a la salida del transpondedor operado con varias portadoras.....	-67.5 dBW/ m ²
-Densidad de flujo a saturación operando con una sola portadora.....	-73.7 ± 0.8dBW/ m ²
-Ancho de banda disponible por transpondedor....	36 MHz
-Ancho de banda requerido por IIB-CICESE.....	por calcularse
-PIRE disponible del satélite.....	33.7 dBW
-Sensibilidad del sistema receptor.....	-18.6 dB/°K
-Límite de la envolvente de la estación terrena... 32-25 Log θ^* dBI	
-Intermodulación del transpondedor.....	40 dB/4 KHz

La selección de la combinación de la antena y el preamplificador de bajo ruido, es un aspecto importante en la definición de la estación terrena que depende principalmente de la potencia disponible del satélite, la eficiencia de la antena, la temperatura del ruido del sistema de recepción, etc.

Nota: Esta envolvente cambió a partir de Noviembre de 1983, por reglamentación de la FCC para satélites con separación orbital de 2°, a 29-25 Log θ^ .

4.3.- CONFIGURACION DE LAS ESTACIONES TERRENAS.

Por lo que respecta a la combinación G/T de las estaciones terrenas, ésta deberá ser tal, que se garantice una G/T no menor que 13dB °K a 4 GHz y ángulos de elevación de 13° mayor.

Debido a los estrictos requisitos para acceder a los satélites INTELSAT, es necesario que las antenas propuestas sean del tipo Cassegrain a fin de obtener mayor eficiencia y mejor patrón de radiación.

El aislamiento entre los puertos de transmisión y recepción del sistema de antena deberá ser mayor que 30dB a fin de evitar la degradación de las características del amplificador de bajo ruido.

Para manejar el número de canales necesarios, las estaciones terrenas deberán contar con la suficiente potencia, por lo que el fabricante deberá anexar el cálculo con el que justifique la potencia propuesta.

También contarán las estaciones terrenas con subsistemas de configuración redundantes, para los dispositivos con influencia directa en la confiabilidad total del sistema de transmisión y recepción como son el amplificador de potencia, preamplificador de bajo ruido, convertidores de frecuencias ascendentes y descendentes, y los correspondientes moduladores demoduladores de R.F. El material de instalación, cables, guías de onda necesarios para la conexión de la antena y los equipos de seguimiento automático paso a paso en caso de que sean necesarios, deberán ser cotizados.

4.3.1.- Subsistema de Antena (Transmisión, Recepción).

-Diámetro.

Según diseño.

- Montura . Elevación/Acímüt.
- Capacidad de manobra . Aunque la antena operará en una posición fija, no deberá existir ninguna dificultad para apuntar a cualquier satélite ubicado en el plano del Ecuador entre 50°y 150°de longitud OESTE sin modificación en la base o en la estructura de la antena.
- Frecuencia:
- | | |
|-------------|------------------|
| Recepción | 3700 a 4200 MHz. |
| Transmisión | 5925 a 6425 MHz. |
- Polarización . circular (transmisión y recepción), preparada para cambio a lineal.
- Ganancia . La ganancia de la antena dependerá del diámetro y diseño de la misma y será calculada por el proveedor de acuerdo a la combinación con el LNA.
- G/T (valores Mínimos). a 4.0 GHZ. 23 dB/K a 4 GHz
Con ángulo de elevación de 13° bajo condiciones de cielo despejado.
- Seguimiento Automático.* Deberá suministrarse un sistema de indicación electrónico de ángulo de antena y algún sistema de indicación física sobre la estructura de la antena.
- *Nota.- Este subsistema es caro e innecesario en el caso de emplearse el Sistema Morelos.

- Ajuste de polarización.
 - Aislamiento de transmisión/recepción.
 - Resistencia mínima al viento.
 - Condiciones de operación.
 - Condiciones para supervivencia.
- Continuo 360° .
- 30 dB
- 07 Km/hora de velocidad de viento con la estación terrena en operación y 175 Km/hora en cualquier dirección para su supervivencia.
- temperatura - 10°C a + 50°C
 humedad 95%
 lluvia 4 pulgadas /hora
 radiación solar 30 BTU/pie²/hora.
 vientos 9 mercales
 temperatura - 30°C a + 50°C.
- 4.3.2.- Amplificadores de Potencia.
- Rango de frecuencia.
 - Ancho de banda.
 - Potencia de salida saturada.
 - Salidas armónicas.
 - Salidas espurias .
- 5925 a 6425 MHz.
- 500 MHz instantáneo.
- Deberá calcularse y proponerse por el ofertante, considerando el tráfico de cada estación terrena y decibelios de back-off en operación.
- 60 dB mínimo.
- 60 dB máximo/4 KHz en cualquier parte de la banda de 5925 a 6425 MHz .

4.3.3.- Preamplificadores de Bajo Ruido.

- Rango de frecuencia. 3700 a 4200 MHz.
(Cotizar con filtro de rechazo de frecuencia de transmisión).
- Ancho de banda. 500 MHz entre los puntos extremos de -1 dB con respecto a la respuesta de ganancia (3.7 a 4.2 GHz).
- Temperatura de ruido. Referida a la brida de entrada del conjunto de los LNA a una temperatura ambiente de 50°C. Consistente con el G.T.
- Rango dinámico. arriba de - 50 dBm.
- Ganancia. 50 dB mínimo y 60 dB máximo. La ganancia deberá mantenerse dentro de ± 0.5 dB por semana.

4.3.4.- Terminal SCPC/PSK.

- Modalidad. Canal único por portadora en modo preasignado.
- Tipo de Modulación. Modulación PSK de cuatro fases.
- Rango de frecuencia. Cualquier banda de 36 MHz en el rango de 5925 a 6425 MHz para transmisión y 3700 a 4200 MHz para recepción.

- Selección de Frecuencia. Selección independiente de frecuencia para transmisión y recepción dentro de la banda de 16 MHz.
 - Espaciamiento de frecuencia. 45 KHz.*
 - Estabilidad de frecuencia de Transmisión. ± 2 KHz.
 - Relación de portadora/ruido. Compatible con el tipo de modulación.
- 4.3.3.- Subsistema de banda base.
- 4.3.3.1.- Interfase a nivel de voz.
- Pre-énfasis. 265 micro- segundos.
 - Interfase de circuito. 4 hilos/2 hilos para transmisión y recepción.
 - Impedancia. 600 ohms balanceados.
 - Nivel de potencia. - 7 a - 16 dBr ajustables a pasos de 1 dB en el sentido del satélite. - 16 a - 7 dBr a pasos de 1 dB en el enlace satélite-estación terrena.
 - Pérdidas de retorno. 20 dB mínimo
 - Respuesta en frecuencia. ± 1 dB en la banda de 400 a 2900 Hz.
- * Nota.- Se pueden considerar ofertas opcionales con 30 KHz y 22.5 KHz.

4.3.5.2.- Interfase a nivel de datos.

Interfase de datos binario.

- Interfase digital. CCITT V.24 y V. 29
- Velocidad de transmisión. 9600 bits/seg.

4.4.- CONVERTIDOR DE SEÑALIZACION.

4.4.1.- Generales.

El convertidor de señalización deberá ser diseñado para operar en combinación con el equipo terminal SCPC. La sección emisora permitirá recibir un canal con la señal entrante E y M del equipo de conmutación asociada a la estación terrena y enviar el tono de señalización correspondiente al equipo SCPC y por su parte, la sección receptora detectará el tono de señalización transmitido desde la estación terrena distante y los enviará al equipo de conmutación.

4.4.2.- Configuración.

El convertidor de señalización estará compuesto de la sección convertidor E y M de la sección convertidora de señalización.

4.4.3.- Especificaciones.

- Impedancia del canal. 600 Ohms de salida desbalanceada.
- Frecuencia de señalización. por definir.
- Nivel de salida. - 10 a - 40 dBm ajustables a pasos de 1 dB.

**CAPITULO 5.- CRITERIOS PARA LA EVALUACION DE
PROPUESTAS DE PROVEEDORES DE EQUIPO.**

5.0 INTRODUCCION.

En este capítulo se establece un lineamiento general para la evaluación técnica de las propuestas de equipo de proveedores, resultado de la convocatoria que el Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada juzguen convenientes. Las sugerencias aquí indicadas deberán aplicarse a cada proveedor para poder evaluar sus propuestas sobre una base costo-beneficio. Los siguientes comentarios se consideran más importantes.

5.1 COMENTARIOS GENERALES.

- 1) Debe darse preferencia a equipo que haya sido probado y empleado en otros sistemas.

El ofrecimiento de productos novedosos que ahorran potencia, ancho de banda, o algún otro parámetro. Puede ser engañoso, ya que puede tratarse de una técnica o componente conocida, bautizada con distinto nombre.

- 2) Debe evitarse al máximo la interconexión excesiva de módulos de fabricantes distintos. Esto puede causar problemas no solo de acoplamiento, sino de mantenimiento y reposición.
- 3) Debe exigirse a los proveedores que presenten y entreguen:

- a) una descripción detallada de la integración del sistema con cálculo y niveles de potencia.
- b) especificaciones detalladas de todo el equipo, indicando que cumplen con los estándares de INTELSAT.
- c) consideraciones sobre mantenimiento, repuestos y confiabilidad.
- d) programas de entrega del equipo.
- e) descripción de las responsabilidades del fabricante y del cliente en cuanto a instalación, incluyendo un plan de tiempos, costos y coberturas de estos últimos.

4) La evaluación de propuestas debe hacerse sobre una base costo-beneficio y no comparando costos únicamente.

5.2 ASPECTOS GENERALES A ANALIZAR EN LAS PROPUESTAS.

- 1) Checar los siguientes parámetros en los cálculos que presente el proveedor:
 - a) márgenes de operación.
 - b) G/T especificados para los peores casos.
 - c) niveles de señal y de ruido para las estaciones, para los peores casos.
 - d) productos de intermodulación y elección del tamaño de los amplificadores de potencia, tomando en cuenta una futura expansión. Back offs de -----

operación.

- e) estabilidad en los niveles de transmisión.
- f) respuestas de transmisión y recepción del equipo SCPC.
- g) tolerancias de frecuencia en recepción y transmisión.
- h) temperatura de ruido de los receptores.

- 2) Las especificaciones del equipo o instalaciones bajo condiciones de operación deben tomar en cuenta los parámetros de:
 - a) humedad.
 - b) precipitación pluvial.
 - c) velocidad del viento.
- 3) Debe chequearse que se incluyan las componentes redundantes más críticas, por ejemplo, amplificadores de potencia, preamplificadores de bajo ruido, tarjetas de reemplazo de canales SCPC (incluyendo el generador de la frecuencia piloto).
- 4) Definición de las responsabilidades de embaucamiento y entrega.
- 5) Definición de las responsabilidades de protección y alimentación de potencia de los equipos.
- 6) Definición del plan de pruebas del equipo y arreglos

necesarios para la aceptación de INTELSAT.

- a) Pruebas de fabricación.
 - b) Pruebas en el lugar de operación.
 - c) Pruebas de aceptación.
 - d) Indicaciones sobre el equipo de pruebas más importante que el usuario requiera, incluyendo costos, términos y garantías, si es que van incluidos en su oferta.
- 7) Las propuestas deben indicar que la entrega de los equipos estará respaldada con documentación completa como manuales de operación, dibujo, diagramas de bloques, diagramas de circuitos, instrucciones para pruebas, etc...
- Esta documentación debe ser entregada con el equipo o inclusive antes.
- 3) Las propuestas deben mencionar un plan de coordinación para evitar interferencias, incluyendo un estudio de los sitios donde serán instaladas las estaciones terrenas y el equipo, así como condiciones climatológicas.
- Debe tenerse particular cuidado en este punto.

5.3 ASPECTOS DETALLADOS A ANALIZAR EN LAS PROPUESTAS, POR COMPONENTE.

Es muy probable que las propuestas presentadas por los proveedores contengan mucha información superflua o poco crítica. A continuación se indica los principales parámetros o puntos clave considerados como necesarios, y en los que hay que prestar particular atención.

5.3.1. Antenas.

- a) lóbulos laterales. El patrón de radiación debe cumplir con las especificaciones de INTELSAT/CCIR:
- para $1^\circ < \theta < 48^\circ$, ganancia = $12 - 25 \log \theta$ dBi
 - para $48^\circ < \theta < 100^\circ$, ganancia = -10 dBi
 - para $100^\circ < \theta < 130^\circ$, ganancia = -15 dBi

en donde el ángulo θ se mide a partir de la dirección de máxima radiación (lóbulo principal).

- b) polarización. El satélite INTELSAT IV opera con polarización circular. Debe analizarse la previsión propuesta para un posible cambio a polarización lineal, en caso de operar con los satélites MORELOS. El proveedor debe garantizar o demostrar una discriminación de polarización cruzada ≥ 20 dB.

c) tolerancia de superficie. El proveedor debe indicar:

- la precisión del reflector y del subreflector.
- la eficiencia de operación bajo condiciones de viento y radiación solar.
- características de distorsión.
- métodos para soportar la estructura.
- transportación, protección y ensamblado.

d) rastreo. El proveedor debe indicar la precisión del mecanismo o método de rastreo, velocidad de movimiento, señalización y operación bajo condiciones de viento.

Es muy importante prever desajustes significativos del INTELSAT IV por el tiempo en que ya ha estado operativo y el proveedor debe indicar soluciones al respecto. Debe considerarse además la complejidad mecánica de las cajas de engranes y dispositivos asociados.

También es muy importante que el proveedor especifique la disponibilidad y entrega de paneles de observación con indicadores de alarma, sensores de posicionamiento y de pérdida de señal, así como los requerimientos de potencia para alimentar a todo el sistema de rastreo. Transferencia automática a operación manual en caso necesario.

e) patrones de radiación de los alimentadores. El proveedor debe especificarlos y garantizar eficiencia máxima o interferencia mínima, para toda la banda de frecuencias de transmisión y recepción.

f) VSWR. El proveedor debe especificarlo para la banda de frecuencias de transmisión y recepción. Debe estar lo más cercano posible a 1.0.

g) aislamiento del alimentador. Debe cumplir con lo siguiente:

transmisión/recepción > 80 dB

recepción/recepción > 30 dB

transmisión/transmisión > 30 dB

n) potencia capaz de manejar la antena. Debe ser mayor o igual a 1.5 veces la salida máxima nominal del amplificador de alta potencia.

i) protección del alimentador. El proveedor debe especificarla (contra polvo, corrosión, lluvia, etc.)

j) presurización de las guías de onda. El proveedor debe especificarla.

5.3.2 Amplificadores de potencia. Los puntos clave en la definición de éstos son la potencia de los productos de intermodulación para determinar la potencia máxima nominal de cada amplificador de estado sólido (linealidad de amplitud), el control de estabilidad en la salida y las emisiones espurias y ruido. Las características de cada amplificador deben ser comparables a las siguientes:

a) VSWR bajo condiciones de carga. Debe ser menor o igual a 1.3:1.

b) pendiente de la característica de ganancia. Debe ser menor o igual a 0.03 dB/MHz cuando menos en un tercio de

la banda, tomando como punto de referencia la frecuencia central.

c) salidas espurias. Deben ser menores o iguales a -65 dBW en cualquier banda de 4 kHz.

d) productos de intermodulación de tercer orden. Para pruebas con los portadoras debe uno esperar valores aproximados a los siguientes:

productos de intermodulación (dB) back-off salida (dB)

-10	3
-25	10
-40	17

e) retraso de grupo. Debe uno esperar valores como los siguientes:

lineal ≤ 0.25 nseg/MHz

parabólico cuadrado ≤ 0.25 nseg/MHz²

rizo, pico - pico ≤ 2 nseg en cualquier banda de 36 MHz

f) conversión de AM a PM. Debe ser aproximadamente igual a:

$< 3^\circ$ /dB.

g) salidas armónicas. Su potencia total debe ser inferior a 30 dB por debajo de la potencia nominal de salida del amplificador.

h) filtro de armónicas de la guía de onda. Es importante que el filtro de armónicas tenga una buena característica de supresión con atenuaciones del orden siguiente:

segunda armónica : 50 dB, mínimo
 tercera armónica : 40 dB, mínimo
 demás armónicas : 20 dB, mínimo

- i) potencia de alimentación. Deben especificarse las variaciones permisibles en el voltaje y frecuencia de alimentación (valores razonables son, respectivamente, 10% y 5%). Debe especificarse si se requiere algún sistema especial de alimentación, protección y circuitos de arranque - parada.
- j) sistema de enfriamiento. Usualmente contiene un soplador de hélice. Cualquier falla de este soplador debe advertirse con un sistema de alarma.
- k) controles, medidores y seguros de protección. Todos estos deben ser previstos para conocer el estado de operación en la consola de control.
- l) condiciones de operación. Debe especificarse el rango de temperaturas, humedad, altitud y vibraciones (en caso de transportar).
- m) condiciones de reparación y entrega. Deben ser especificadas.

5.3.3 Preamplificadores de bajo ruido. Deben ser de configuración redundante, completos con interruptores de RF, filtros, acopladores, placa de montaje y unidad de control.

a) ganancia. Debe ser del orden de 20 a 55 dB en un ancho de banda de 500 MHz y acorde con la temperatura de ruido requerida.

b) pendiente de la característica de ganancia. Debe ser $\leq \pm 0.1$ dB en cada 10 MHz. Debe ser $< \pm 0.5$ dB en toda la banda de 500 MHz.

c) estabilidad de ganancia. Este parámetro es muy importante y debe ser especificado. Valores típicos de estabilidad son:

- ± 0.1 dB por día.
- ± 0.5 dB por semana.

d) temperatura de ruido. Debe chequearse de acuerdo a cada estación. Es muy importante asegurarse que la cifra suministrada incluya las contribuciones del interruptor de entrada, el acoplador y el filtro de rechazo de transmisión, ya que atenuaciones extra de aproximadamente 1 dB pueden significar un aumento del orden de 10^3 en la temperatura de ruido efectiva.

e) VSWR. Debe ser menor o igual a 1.1:1 tanto en la entrada como en la salida. Tanto los cables como los conectores deben estar incluidos.

f) retraso de grupo. Para cualquier segmento de 40 MHz dentro de la banda de recepción, debe cumplirse lo siguiente:

-lineal	$\Delta \pm 0.1 \text{ nseg/MHz}$
-parabólico cuadrado	$\Delta \pm 0.001 \text{ nseg/MHz}^2$
-rise, pico-pico	$\Delta 0.5 \text{ nseg.}$

g) conversión de AM a PM. Debe ser menor o igual que 0.2% dB para niveles de portadora de entrada alrededor de -70 dBm.

h) temperaturas de operación y almacenamiento. Deben ser especificadas por el proveedor para evitar la posibilidad de condensación.

i) confiabilidad y reparación. El proveedor debe garantizar un mínimo de horas de servicio (por ejemplo, un valor promedio de 10 a 50 mil horas), así como el tiempo de reparación y trámites requeridos.

j) sistema de conmutación. Debe proporcionarse un sistema de conmutación automático entre preamplificadores de bajo ruido.

k) acoplador de entrada de prueba. El proveedor debe indicar las ventajas de poseerlo y el precio de esta unidad para checar el funcionamiento del preamplificador con regularidad.

l) filtro de rechazo de transmisión. Es muy importante tener este filtro para rechazar la potencia de fuga del transmisor. Debe tener una capacidad de rechazo de 30 a 90 dB en la banda de transmisión.

5.3.4 Conversores de Frecuencia (Mezcladores). Los conversores de frecuencia 70 MHz a 6 GHz y 4 GHz a 70 MHz; generalmente se encuentran integrados con el equipo SCPC, y consisten de amplificadores, mezcladores, filtros y osciladores locales.

5.3.4.1 Conversor de bajada. Debe cumplir con los siguientes parámetros:

- VSWR, entrada = 1.2:1
- factor de ruido = 12 dB
- ganancia = 35 ± 10 dB
- nivel de potencia de salida = 34 dBm para entrar a la tarjeta de SCPC.
- ruido de fase: esta es una característica muy importante. A continuación se dan algunos valores típicos.

frecuencia fundamental	1° /KHz
segunda armónica	0.3° /KHz
tercera armónica	0.5° /KHz
- estabilidad de frecuencia = ± 4 ppm/mes

5.3.4.2

Conversor de subida. Debe cumplir con los siguientes parámetros:

- VSWR, entrada = 1.2:1
- variación de ganancia con temperatura prevista por el proveedor.
- variaciones en la respuesta de amplitud en cualquier banda de ± 10 MHz = ± 0.2 dB.
- ruido de fase.

Valores típicos:

Frecuencia fundamental	1° /KHz
segunda armónica	0.5° /KHz
tercera armónica	0.5° /KHz

- e) estabilidad de frecuencia ± 0.025 ppm/mes para operación entre 20° y 13° C.
- f) nivel de potencia de salida -15 a -13 dBm para entrar a la tarjeta de SCPC.

Debe asegurarse la entrega y continuación de manufactura de cristales de repuesto para ambos convertidores de subida y bajada. La estabilidad de frecuencia debe ser observada en el panel de control.

- 5.3.5 Tarjetas SCPC. Estas unidades deberán ser analizadas en función de la técnica de modulación empleada (velocidad en kbits/sec, relación C/N BER, señal piloto, etc.) y de los acoplamientos que el proveedor sugiera entre las unidades terminales remotas y las tarjetas de SCPC. El proveedor debe demostrar que sus sugerencias cumplen con los requerimientos de velocidad, ancho de banda y tasa de bits detectados en error para la transmisión de datos.

C O N C L U S I O N E S .

Este trabajo de tesis es resultado de la experiencia obtenida en diversos proyectos de ingeniería desarrollados en el Instituto de Investigaciones Eléctricas en el área de la radiocomunicación, principalmente en la transmisión de voz y datos vía microondas y vía satélite con aplicaciones al Sector Eléctrico Nacional.

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

- El satélite considerado fue el INTELSAT IV ubicado a 51° Longitud Oeste.
- Las estaciones terrenas IIE-CICESE se especificaron utilizando el estándar 2 de INTELSAT.
- La metodología de diseño del enlace se puede aplicar a cualquier red de comunicaciones vía satélite.
- El diseño del enlace experimental se efectuó para la transmisión de un canal de voz y uno de datos utilizando el modo de operación digital PCM/SCPC/QPSK/FDMA.
- Se podrán utilizar amplificadores de potencia de estado sólido en el orden de 20 watts, con platos entre 4 y 5 metros de diámetro y amplificadores de bajo ruido en el rango de 35°K a 120°K para lograr la figura de mérito requerida de 23 dB/K.

- Las especificaciones técnicas del equipo requerido y los criterios técnicos para evaluar proveedores, objetivos del presente estudio , se podrán utilizar en cualquier Sistema de Satélites Geoestacionarios , siempre y cuando se tomen en cuenta los requerimientos técnicos específicos de la aplicación en particular.
- Se proporcionó mayor flexibilidad al programa de computadora desarrollado en el IIE, para poder diseñar enlaces con el Sistema de Satélites Morelos.
- Habiéndose estudiado la factibilidad técnica del enlace, el paso inmediato será proceder al concurso de proveedores y adquisición de las estaciones terrenas de acuerdo a las especificaciones aquí presentadas.
- La adquisición, instalación y operación de este enlace experimental, permitirá adquirir experiencia en comunicaciones vía satélite a los ingenieros investigadores del IIE-CICESE y de esta manera poder brindar una asesoría más completa al Sector Eléctrico.

R E F E R E N C I A S .

- 1) Westcott, R.J., "Investigation of multiple f.m/f.d.m. carriers through a satellite t.w.t. operating near to saturation," Proc. IEE, vol. 114, no. 6, pp. 726-740, June, 1967.
- 2) Hills, M.T. & Evans, R.G., "Transmission Systems: Telecommunication Systems Design", Volume 1. George Allen & Unwin LTD., 1973.
- 3) Spilker, J.B. Jr., "Digital Communications by Satellite" Prentice-Hall Inc., 1977.
- 4) Livingston, G. Donald, "The Physics of Microwave Propagation", Prentice-Hall, 1970.
- 5) Boudreau, P.M. and W.T. Davies, "Modulation and Speech Processing for Single Channel per Carrier Satellite Communications", IEEE International Communications Conference Record, pp. 19-9 to 19-13, June, 1971.
- 6) Chakraborty, D., "Intelsat IV Satellite System (Voice) Channel Capacity versus Earth-Station Performance", IEEE Trans. on Communication Technology, June, 1971.
- 7) Reporte final de la Red de Telecomunicaciones via Satélite para el CENACE/CFE. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Nov. 1982.

- 8) **The Handbook of Digital Communication.**
Microwave Systems News, Vol. 9, No. 11, 1979.
- 9) **Freeman, Roger L., "Telecommunication System Engineering: Analog and Digital Network Design".**
Wiley-Interscience, 1980.
- 10) **Standard 2. Performance characteristics for Domestic Earth Stations Accessing INTELSAT Leased Space Segment Capacity (6/4 GHz and 14/11 GHz frequency bands).**
Documents INTELSAT, BG-62-7EE, Sept. 1980.
- 11) **Speech Bandwidth Reduction.** (U.S.) Federal Communications Commission, Washington, D.C., August, 1979.
Reproduced by National Technical Information Service.
- 12) **Feher, K., "Digital Communications: Satellite/Earth Station Engineering",** Prentice-Hall, 1983.
- 13) **Feher, K., "Digital Communications: Microwave Applications".** Prentice-Hall Inc, 1981.
- 14) **Feher, K., "Digital Modulation Techniques in a Interference Environment",** Don White Consultants, Inc., 1977.
- 15) **PCM Channel Bit Rate Reduction, GTE Demodulator.**
November/December, 1982.

- 16) Dell, Dixon R., "Data Communications: Facilities, Networks and Systems Design"., John Wiley & Sons, 1978.
- 17) Kennedy, George, "Electronic Communication Systems". McGraw-Hill Book Company, 1977.
- 18) Carlson, A.B., "Communications Systems". McGraw-Hill, LTD, La. Edición 1975.
- 19) Bellamy, John, "Digital Telephony". John Wiley & Sons. 1980.
- 20) "Satellite Communications", IEEE Press Selected Reprint Series, Harry L. Van Trees, 1979.
- 21) "Communications Satellite Systems: An Overview of the Technology". IEEE Aerospace and Electronics Systems Society, IEEE Press, 1978.
- 22) "Compendium of Communication And Broadcast Satellites, 1958 to 1980", IEEE Press, Martin P. Brown Jr.
- 23) "Servicios fijos con satélites de telecomunicación" (Recomendaciones e informes del CCIR, 1978), C.I.T. Volumen IV y Volumen IX. XIV Asamblea plenaria, Kyoto, 1978.

- 24) "Special Issue on Digital radio", Volume COM-27, number 12, December 1979, IEEE transactions on Communications.
- 25) "Diseño de sistemas de telecomunicación vía satélite: Teoría y Aplicaciones". Notas de seminario, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Museo Tecnológico de IFE, 1982.
- 26) "Engineering Considerations for Microwave Communications Systems". NTE Lenkurt Inc. 1975.
- 27) "Ingeniería de Transmisión: Introducción de la Comunicación por Satélite". Japan International Cooperation Agency. Escuela Nacional de Telecomunicaciones, México, S.C.T.
- 28) Taub L. & Schilling G., "Principles of Communications Systems", Mc Graw-Hill.
- 29) Schwartz, Misra, "Information of Transmission, Modulation and Noise". Mc Graw-Hill, LTD, 2a. Edición 1970.
- 30) "Evaluación Técnica de proveedores para la Red de Telecomunicaciones vía Satélite del VIOTRE del SENACE, . Instituto de Investigaciones Eléctricas, Abril 1982.
- 31) Grange L.J., "Computer Communication Through Telecommunication Satellite System". C/O INRIA S.P., France.

- 32) Martin, J., "Communication Satellite Systems".
Prentice-Hall, Inc, 1973.
- 33) Hamlet, J., "Satellite Systems".
Birmingham University, 1978.
- 34) Titos M. & Arnold, W.H., "Low-Elevation- Angle Propagation
Effects on COMSTAR Satellite Signals".
The Bell System Technical Journal.
- 35) "Características Técnicas del sistema de Satélites Doméstico
México". Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1983.
- 36) Harrison, J.G. & Wong, C.V., "Convolutional FEC design
Considerations for data communications over PSK Satellite
Channels".
Satellite Communications Conference, Ottawa, Canada, 1983.
- 37) Babek Heine, "2 KW Amplifier for Satellite Communication
Station". Siemens Telecom Report, Noviembre 1980.
- 38) Till, W. Richard, "A Low noise GaAsFET Preamplifier for
21 GHz Satellite Earth terminals".
Microwave Journal, March 1983.

- 39) "Antenna noise". Earth Station Symposium '79. Scientific-Atlanta, INC., Atlanta Georgia, October 1979.
- 40) Freeman, Roger L., "Telecommunication Transmission Handbook". John Wiley & Sons, 1975.
- 41) Mitchell, W. Carl, "The use of Satellites In Meeting the Telecommunications Needs of Developing Nations". Radioscience laboratory, Stanford University, Technical Report No. 1, June 1975.
- 42) Jabbari Bijan, "Optimization of Digital Satellite Communication Networks". Communication Satellite Planning Center Stanford University, Technical Report No. 36, February, 1982.
- 43) "Space Communication and broadcasting, an international journal". Volume 1, Number 1, April 1983. North-Holland.
- 44) Miya K., "Satellite Communications Technology". KDD Engineering and consultants, Inc. Tokyo, Japan, third printing 1983.

ANEXO 1.- DATOS DE DISEÑO DEL SATELITE INTELSAT IV
Y RESTRICCIONES IMPUESTAS AL SISTEMA DE
TRANSMISION POR INTELSAT.

1.-PARAMETROS DE DISEÑO DEL SATELITE GEOESTACIONARIO
INTELSAT IV (F7).

Localización orbital..... 53° Longitud Oeste.

Cobertura..... Global y haz pincel.

Polarización..... Circular.

Densidad de flujo de iluminación a la antena receptora
del satélite para saturación del transpondedor
operando con portadoras múltiples.... -67.5 dBW/m²

Densidad de flujo a saturación operando
con una sola portadora..... -73.7 dBW/m²

Ancho de banda disponible del transpondedor.. 36 Mhz

Ancho de banda requerido por IIE-CICESE por calcularse.

PIRE disponible del satélite..... 33.7 dBW

Figura de mérito del satélite..... -18.6 dB/K

II.- RESTRICCIONES IMPUESTAS AL SISTEMA POR INTELSAT.

Los factores siguientes deberán ser considerados en el diseño de redes de telecomunicación usando satélites INTELSAT:

- 1).- Las estaciones terrenas no estándares o aquellas que no cumplan con los requerimientos de Intelsat requieren aprobación especial.
- 2).- Las estaciones terrenas trabajando con satélites INTELSAT IV pueden conmutarse a otros satélites bajo condiciones de emergencia para mantener el servicio.
- 3).- La organización INTELSAT puede cambiar la localización del satélite o requerir estaciones para transferir operaciones a otro satélite.
- 4).- Normalmente solo una parte del ancho de banda del transpondedor será usado para servicio usando SCPC.
- 5).- Una frecuencia para el tono piloto de referencia es requerida por cada segmento SCPC. (En una red, no todas las estaciones SCPC necesitan transmitir el tono piloto).
- 6).- En la instalación de una estación terrena, las pruebas y equipo de medición deben ser proporcionadas y ejecutadas para asegurar la ejecución especificada.
- 7).- Los nuevos usuarios de servicios de telecomunicación vía satélite son responsables de asegurar que no exista interferencia con otros usuarios ya establecidos.
- 8).- La operación de estaciones terrenas con un ángulo de elevación menor que 5 grados no es permitida.

9.- El sistema INTELSAT permitirá ejecución bajo condición de cielo despejado y vientos ligeros. Durante condiciones adversas, la ejecución será degradada.

10.- Existen tres modos de operación aprobados de SCPC:

- 1) SCPC/PCM/4-PSK, con asignación por demanda.
- 2) SCPC/PCM/4-PSK, con pre-asignación.
- 3) SCPC/PCM/4-PSK, para velocidad de transmisión de 48 kbps o 50 kbps usando códigos convolucionales 3/4 o transmitiendo velocidades de 56 kbps usando códigos convolucionales 7/8.

El modo (1) es usado con transpondedores de haz global mientras que los modos (2) y (3) pueden ser usados con transpondedores de haz global o haz pencil o hemisférico.

11.- La activación por voz es normalmente requerida con operación SCPC.

ANEXO II.- PROGRAMAS Y RESULTADOS POR COMPUTADORA, DE
LOS ANGULOS DE ELEVACION Y PARAMETROS DE
DISEÑO, PARA LA ESPECIFICACION PRELIMINAR
DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL IIE Y CICESE.

I.- ANGULOS DE ELEVACION.

El uso de satélite INTELSAT IV (F7) localizado a 53 grados longitud oeste, arroja como resultados preliminares de cálculo un ángulo de elevación de 33.66° para el IIE y de 13.68° para el CICESE.

La alternativa de emplear en el futuro el satélite mexicano Morelos, localizado a 116.5° longitud oeste ofrece mejores condiciones de operación, pues para el I.I.E. resulta un ángulo de elevación de la antena respecto al horizonte de 60.22° y para el CICESE de 52.90° .

En el caso de utilizar el satélite INTELSAT IV, se concluye que si se cumplen los requerimientos mínimos de INTELSAT para el ángulo de elevación, que debe ser mayor que 5° para cualquier estación terrena localizada en el área de cobertura del satélite.

II.- PARAMETROS DE DISÑO.

Los principales parámetros a considerar de los resultados enlistados al final de este anexo son los siguientes:

- 1) Tipo de haz.- Se utilizó el haz pincel, debido a su mayor densidad de potencia de iluminación.
- 2) Ancho de banda de portadora en el satélite.- Se utilizó un ancho de banda de canal, portadora de 45 MHz.
- 3) Relación portadora ruido del sistema (C/N).- Se consideró un esquema de modulación digital 4-PSK con demodulación coherente a una probabilidad de error de 10^{-6} .
- 4) PIRE/canal (PIRE/C/C).- Parámetro fundamental en el cálculo de la potencia del transmisor (ver sección 2.3.4 de este trabajo).
- 5) Figura de mérito E/T (dB/°K).- Se considerarán valores de 22 dB/°K para las estaciones terrenas, en el programa de computadora, de acuerdo a los cálculos del enlace obtenidos en el capítulo 2.

LISTADO DE RESULTADOS

El listado de resultados, por corrida, debe interpretarse conforme a las siguientes indicaciones.

PIRE DEL SATELITE .

requerido	es la potencia isotrópica radiada que que se requiere del satélite, en proporción al ancho de banda utilizado de un transpondedor.
disponible	es la potencia isotrópica radiada efectiva <u>disponible</u> del satélite, en proporción al ancho de banda utilizado de un transpondedor.
margen	diferencia entre la potencia disponible y la requerida.

ANCHO DE BANDA DEL TRANSPONDEDOR .

requerido	es el ancho de banda total que se requiere para la transmisión de todos los canales en el sistema.
disponible	es el ancho de banda total disponible acorde con el porcentaje utilizado del transpondedor. Este porcentaje no es el ocupado por los canales del enlace experimental, sino que se utiliza como base para efectos de cálculos.

NUMERO TOTAL DE
CANALES UNIDIREC-
CIONALES.

igual a la suma de los canales de voz y de datos requeridos.

ENLACE-ESTACIONES

queda definido por un número, se indica la pareja de estaciones enlazadas; la primera transmite y la segunda recibe.

C/N REQUERIDO

es la relación portadora sobre ruido con la que el sistema debe operar, incluyendo el margen de lluvia.

CANALES DE VOZ

PIRE/canal/satélite

es la potencia efectiva isotrópica que debe radiar el satélite, por canal.

PIRE/canal/terrena

es la potencia efectiva isotrópica que debe radiar la estación terrena, por canal.

NUMERO DE CANALES

activados por voz
canales dedicados

número de canales de voz.
número de canales de datos.

G/T POR ESTACION

figura de mérito de la estación terrena receptora en cuestión.

<u>TEMPERATURA</u>	temperatura de ruido del preamplificador de bajo ruido, en grados Kelvin.
<u>GANANCIA ANTENA</u>	ganancia de la antena receptora, en decibelios.
<u>(C/NO) s</u>	relación portadora sobre <u>densidad</u> de ruido en la trayectoria de subida.
<u>(C/IO)</u>	relación portadora sobre <u>densidad</u> de ruido de intermodulación producida en el satélite.
<u>(C/NO) B</u>	relación portadora sobre <u>densidad</u> de ruido en la trayectoria de bajada.
<u>(C/NO) TOTAL</u>	relación total portadora sobre <u>densidad</u> de ruido.
<u>(C/N) TOTAL</u>	relación total portadora sobre ruido obtenida con los niveles de potencia especificados por el programa, debe ser igual o mayor a la requerida.

137

DESARROLLO DEL CALCULO GEOMETRICO.

```

XC = 0.0
YS = RE + RO
ZS = 0.0
FACTOR1 = NOVEN - GRA
FACTOR2 = NOVEN - DIF
XT = RE * (SIN(FACTOR1) * COS(FACTOR2))
YT = RE * (SIN(FACTOR1) * SIN(FACTOR2))
ZT = RE * COS(FACTOR1)
    
```

CALCULO DE LAS "YC" Y "MOD'S"

```

FACTORS = (XT**2) + (ZT**2)
YC = (FACTOR1 / YT) * XT
FACTOR4 = YT - YC
FACTORS = YT - YS
MOD1 = SQRT(FACTORS + (FACTOR4 ** 2))
MOD2 = SQRT(FACTORS + (FACTORS ** 2))
FACTOR6 = FACTORS + (FACTOR4 * FACTORS)
    
```

ALFA ES EL ANGULO DE ELEVACION PARA LA ESTACION TERRENA ANALIZADA.

```

ALFA = ACOS(FACTOR6 / (MOD1 * MOD2))
ELEV = ALFA * RAD
    
```

```

RETURN
END
    
```

SUBROUTINA PARA LA IMPRESION DEL ARCHIVO CON LOS DATOS DE LAS ESTACIONES TERRENAS.

SUBROUTINE IMPRESION

```

REAL8 NOVEN,ETA,DELTA,RO,RE,LSAT,PI,RAD,GRSA,DIST,LAT,LON
REAL8 YC,ZS,ZS,XT, YT,ZT,YC,MOD1,MOD2,DIF,ALFA,GRSA,ELEV
REAL8 FACTOR1,FACTOR2,FACTOR3,FACTOR4,FACTORS,FACTOR6
INTEGER N,N1,REGISTRO,ASMR,CU,CONTADOR
CHARACTER(16) NOMBRE,ASMR,AREA
COMMON JUNC,NOVEN,ETA,DELTA,RO,RE,LSAT,PI,RAD,GRSA,DIST
COMMON YDS, YC, YC, ZS, XT, YT, ZT, YC, MOD1, MOD2, DIF, ALFA, GRA, ELEV
COMMON JTRSA,FACTOR1,FACTOR2,FACTOR3,FACTOR4,FACTORS,FACTOR6
COMMON JCONTADOR,N1,REGISTRO,S,LAT,LON,ASMR,CU
COMMON JCONTADOR,NOMBRE,AREA
COMMON JCONTADOR
    
```

IMPRESION DEL ARCHIVO SECONDAE.DAT

```

IF (CONTADOR .EQ. 1) THEN
WRITE (3,1000)
WRITE (3,2000)
END IF
IF (LAT .EQ. 0.0) THEN
WRITE (3,4000) NOMBRE
ELSE
WRITE (3,3000) NOMBRE,ELEV,DIST
END IF
CONTADOR = CONTADOR + 1
IF (CONTADOR .GE. 13) THEN
CONTADOR = 1
END IF
RETURN
1000 FORMAT(//,20X,'ANGULOS DE ELEVACION DE ESTACIONES TERRENAS',//
,19X,'EN GRADOS, DISTANCIA DE LA ESTACION TERRENA',//,
,20X,' AL SATELITE EN Km.',//,
,19X,'SATELITE EMPLEADO: INTELSAT IV (F7), SITUADO A'
,/,/,20X,' 53.0 GRADOS OESTE.////',
2000 FORMAT(20X,' PRUEBAS PRELIMINARES'////,
,15X,'NOMBRE',12X,'ANGULO DE ELEVACION',9X,'DISTANCIA',
,/)
3000 FORMAT(8X,A30,2X,F5.2,16X,F10.4,/)
4000 FORMAT(15X,A30,1X,'no tiene lat. y lon.',//)
C
END

```

159

ANGULOS DE ELEVACION DE ESTACIONES TERRESTRES
EN GRADOS. DISTANCIA DE LA ESTACION TERRESTRE
AL SATELITE EN KM.
SATELITE EMPLEADO: INTELSAT IV (FT), SITUADO A
13.0 GRADOS OESTE.

PRUEBAS PRELIMINARES

NOMBRE	ANGULO DE ELEVACION	DISTANCIA
1.1.E. (Cuernavaca)	33.66	38291.8205
1.1.C.E.S.E. (Ensenada)	17.85	40195.3004

140

ANGULOS DE ELEVACION DE ESTACIONES TERRENAS
EN GRADOS, DISTANCIA DE LA ESTACION TERRENA
AL SATELITE EN N.M.
SATELITE EMPLEADO: MORELOS, SITUADO A
118.5 GRADOS OESTE.

PRUEBAS PRELIMINARES

NOMBRE	ANGULO DE ELEVACION	DISTANCIA
E.I.E. (Guerrero)	50.30	36500.2334
C.T.C.E.S.F. (Ensenada)	50.90	36899.2861

141

ESTE ES UN PROGRAMA DE COMPUADORA QUE MUESTRA ENLACES DE TELECOMUNICACION VIA SATELITIC CON APLICACION PARA CANALES DE VOZ Y TRANSMISION DE DATOS, CON TRANSDUCIDORES FETADOS DE TELECOMUNICACION E INTEL-SAT-IVA PARA DIFERENTES TIPOS DE ILUMINACION Y DIFERENTES ANCHOS DE BANDA DISPONIBLES.

```

* AUTOR (VERSION FINAL): JOSE ANCEL LEE FIELLA
*
* FECHA: MONTEBEE, 1983.
*
*
ATA 13.00+14.00
AP *TER* NOH1-E-G-LDR
REN *ENLACES.DAT* FOR INENT AD FILE #10
REN *TERRENAR.DAT* FOR INENT AT FILE #20,INDEXED,ACCESS SPAD
  *AP *TER* PRIMARY KEY AREA
IN #1(200),#2(200),#3(200),#4(200),#5(200),#6(200),#7(200),#8(200),#9(200),#10(200),#11(200),#12(200),#13(200),#14(200),#15(200),#16(200),#17(200),#18(200),#19(200),#20(200)
AN(200)
EF FHL(X)=4.343#LOG(X)
EF FHL(X)=E(4.230284X)
NPUT *DAME EL ANCHO DE BANDA DE BURO:Y#9
NPUT *DAME EL ESPACIAMIENTO ENTRE CANALES:Y#8
EAB $1-C
NPUT *TECLEE LA TEMPERATURA DE UNIDO A USARSE: Y#1
PRINT *TECLEE TAMAÑO DEL TRANSDUCIDOR Y*
NPUT * 200, 500 OR 1000 Y#9
PRINT *TECLEE EL TIPO DE ILUMINACION DEL SATELITE Y*
NPUT * HAZ GLOBAL, HEMI o MINCEL Y#9#4
  IF Z#1= *200* THEN 1100
  IF Z#1= *500* THEN 1010
  IF Z#1= *1000* THEN 1250
GO TO 2310
R=0#4
IF Z#1= *GLOBAL* THEN 1170
IF Z#1= *HEMI* THEN 1100
IF Z#1= *MINCEL* THEN 1150
REN *****
  U1 = densidad de flujo de propagacion Z) porcentaje de ancho de banda de canal del transductor antes de coef de entrada.
  U2 = coef de entrada.
  U3 = G/T del satellite.
GO TO 2310
U1=-8.4
U2=11.5
U3=-18.6
REN *****
  *RG(CUARTO/RI DAL)*
GO TO 1300
U1=-22.5
U2= 10.7
U3=-17.6
REN *****
  *RP(CUARTO/RINCEL)*
GO TO 1300
U1=-24.5
U2=14
U3=-11.6
REN *****
  *RH*
GO TO 1300
R=1#3#

```

```

1212 IF Z9% = 'GLOBAL' THEN 1220
1214 IF Z9% = 'HEMI' THEN 1240
1215 IF Z9% = 'FINCEL' THEN 1231
1216 GO TO 2310
1220 U1 = -91
1222 U2 = 14.5
1224 U3 = -18.5
1225 REM #HCF#
1226 GO TO 1300
1231 U1 = -93.5
1232 U2 = 21.0
1233 U3 = -17.6
1234 REM #HFF#
1235 GO TO 1300
1240 U1 = -91.5
1241 U2 = 17
1242 U3 = -11.2
1243 REM #HHA#
1244 GO TO 1300
1245 I = 360
1246 IF Z9% = 'GLOBAL' THEN 1270
1248 IF Z9% = 'HEMI' THEN 1290
1249 IF Z9% = 'FINCEL' THEN 1281
1250 GO TO 2310
1251 U1 = -67.5
1252 U2 = 22.0
1253 U3 = -18.6
1254 REM #FDS#
1255 GO TO 1300
1261 U1 = -67.5
1262 U2 = 32.7
1263 U3 = -17.6
1264 REM #FSS#
1265 GO TO 1300
1266 U1 = -78.5
1267 U2 = 20
1268 U3 = -11.6
1269 REM #FHS#
1270 U = 191.5 - U2 + U1 + U3
1271 INPUT * CUANTAS RUTAS DUPLEX ESTACION/ESTACION ? N=#:N
1272 N = N/2
1273 INPUT * TIENE UN ARCHIVO CON DATOS DE LAS R. RUTAS DUPLEX ? Y#Y
1274 IF Y# = 'NO' THEN 1370
1275 GOSUB 2300
1276 GO TO 1300
1277 PRINT * PEELEC EL NOMBRE DE LAS 2 ESTACIONES DE CADA RUTA*
1278 PRINT * I.F.F. (ESTUPH) Y VECTOR*
1279 REM *****
1280 REM El look de 1270 a 1490 debe lo siguiente:
1281 a) lectura de angulo de elevacion G/T y = 180 de cada
1282 estacion. 1
1283 b) recalcular G/T (suma angulo de elevacion. 1
1284 c) calcula elongacion en aspecto libre de subida y bajada. 1
1285 d) estos calculos se hacen bidireccionalmente de allí los 3
1286 los dos look anteriores.
1287
1288 FOR I=1 TO N-1 STEP 2
1289 INPUT #I;N1;#N2
1290 GET #22; KEY #00 SO N1
1291 N1(I) = NOMS
1292 GOSUB 2320
1293 N2(I+1) = N1(I)
1294

```

```

D2(I)=L2
D(I+1)=L1
D(I+1)=G
GAM(I+1) = L * (10 ** (D(I+1)*10))
CAN(I+1) = 10 * LOG10 (GAM(I+1))
L2(I)=L2
L3(I)=L3
GET #20, KEY 100 PD NOS
N2(I)=N04
D2SUB 2300
N1(I+1)=N2(I)
D2(I+1)=L2
D(I)=L1
D(I)=G
GAM(I) = L * (10 ** (D(I)*10))
CAN(I) = 10 * LOG10 (GAM(I))
L2(I)=L2
L3(I+1)=L3
NEXT I
CLOSE #10
CLOSE #20
PS=0
OPEN 'PARAPETRO.DAT' FOR OUTPUT AS FILE #12, RECORDSIZE 130
PRINT 'VECELE LAS CANALES DE DAT POR RUTA ...'
FOR I=1 TO N-1 STEP 2
  PRINT USING 'RUTA# ###,###. ML DEVA ##, NO. DE CANALES=*. '
  I, I+1, N1(I), N2(I)
  INPUT F4(I)
  F4(I+1)=F4(I)
  F3(I)=0
NEXT I
PRINT
PRINT 'CUANTAS RUTAS TIENEN PORTADORAS DEDICADAS ? H=?' F
REM *****
REM Estas rutas son con canales de datos.
IF H=0 THEN 1430
  PRINT ' SE ESTA ASIGNANDO UN CULO CANAL DE DATOS A LAS RUTAS'
  FOR I=1 TO F
    F3(I)= 1
  REM *****
  F3(I) = Numero de canales de datos de la ruta I.
  NEXT I
  INPUT ' CUAL ES EL MARGEN DE OPERACION DEL ENLACE ? M'
  FOR I=1 TO N
    C(I)=C+M
  REM *****
  C(I) DE CN reducido en la ruta I.
  C = C/N de operacion.
  M = Margen de operacion.
  NEXT I
  INPUT ' CUANTAS RUTAS NECESITAN MARGEN DIFERENTE ? H=?' M
  IF H=0 THEN 1700
  PRINT ' CUALES RUTAS Y QUE MARGEN '
  PRINT ' I.F. X1 DE RUTA# (MARGEN) (RTURNO) M VECCO'
  FOR I=1 TO N
    INPUT I1, M1
    C(I)=C+M1
  NEXT I
  *50
  OR I=1 TO N
  PS= PS+F3(I)+F4(I)

```

```

KT I
144
F0 F0/88 THEN 1740
PRINT * EL ANCHO DE BANDA REQUERIDO ES MAYOR QUE EL DISPONIBLE **
PRINT USING *UB, HA SOLICITADO ### CANALES ADICIONALES ***, FS-INT(R/RB)
GO TO 1510
:EM #####
El loop de 1740 a 1870 calcula el C/N total por paso
I=1 TO K
A1=FNK(U-L9(I))
A2=75
A2=FNK(A2)
EM #####
229.8 = 10 log (Soltapan) en dB
A9=01(A1)-0(I)+229.8
A3=FNK(A9)
A2=FNK(A1(I)+A9)
A4=A1+A3
A=C2/A1+A2+A1+A3+A2+A3/A4
A11=FNL(A)
A11=E1(I)+FNL(A1)
A11=E1(I)+FNL(A2)
A11=E1(I)+A9
A9=1/(FNK(-E2(I))+FNK(-E3(I))+FNK(-EB(I)))
A11=FNL(A9)
T I
O
O
I=1 TO K
A = FNK(E1(I)-L9(I))*F(A(I)*K.4+F3(I))
A = A4 + A3
T I
I=1 TO K
A(I)=(U-15)-L9(I)-L8(I)-U3-728.8+0(I)+E1(I)
T I
O
O
TO 2030
UT * TECLÉE 1 SI DESEA IMPRESION DE LOS RESULTADOS, 2 PARA CAMBIAR DATOS:***
K5 GO TO 1700,2200
NT #1#
NT #1#
NT #1#
NT #1# USING * 'LLLL TRANSDUCTOR, HAZ 'LLLL '*Z84+29
NT #1#
NT #1#
NT #1#
NT #1#
NT #1# *
NT #1#, *ENLACE ESTACIONES REQUERIDO CANALES DE VOZ NUMERO G/T DEL TFRF-
NT #1#, * DB DBW DBW AV TC RECEPTOR B/N RATURA
I=1 TO K
NT #1# USING * ### 'LL/LL 89.8 89.8 89.8 88 88 88.8
A1(I)+A2(I)+A1(I)+A2(I)+A3(I)+A3(I)+A1(I)+L9(I)
T I
NT #1#
NT #1#, * PIRE DEL SATELITE ANCHO DE BANDA SAT. NUM. TOTAL DE*
NT #1#, * REQUERIDO DISPONIBLE REQUERIDO DISPONIBLE CANALES UNIDIR.*
NT #1#, * WATTS WATTS DB DBW DBW*
NT #1# USING * ###.## ##.## 44.8 888.88 888.88 8888.8
FNK(U2)+U2-FNL(A4)+FS+R8/1ES+B/1ES+FS
NT #1#
K4=1 THEN 2140

```



```

2364 IF Z94=' NEMI ' THEN Z170          146
2366 L9=.04*(E-20)
2367 REM *****
      L1 = Atenuacion en espacio libre a 4RHz (trayectoria de subida)
      L2 = Atenuacion en espacio libre a 6RHz (trayectoria de subida)
2370 L1=.2*(FNL/D**4)*E9
2372 L2=.2*(FNL/D**6)*E9
2380 RETURN
2390 -----
2391 REM SUBROUTINA Z390
2392 REM -----
2393 REM
2395 REM *** MAP (BUF1)N1R1,N2R1,DR,DSR,C1R1,LPR,LRE,FAR,F3R,C1R ***
OPEN 'LEASBUDG.DAT' FOR INPUT AS FILE #10, ORGANIZATION SEQUENTIAL,
ACCESS READ, MAP BUF1
PRINT * ENLACE ESTACIONES C/N      # DE VA  CANALES FT*
FOR I=1 TO I
  GET #10
  N1(I)=R1R1
  N2(I)=R2R1
  DR(I)=DR
  DSR(I)=DSR
  C1(I)=C1R1
  LPR(I)=LPR
  LRE(I)=LRE
  FAR(I)=FAR
  F3(I)=F3R
  C1(I)=C1R1
  PRINT USING * ###          TLL/LL          ##.#          ###          ###* I
  *N1(I),N2(I),DR(I),C1(I),F4(I),F3(I)
NEXT I
2400 PRINT * ESTOS SON DATOS EXISTENTES*
2401 INPUT * CUANTAS LIGAS HAY QUE CAMBIAR ?*I5
2402 IF I5=0 THEN Z530
2403 PRINT * TECLER # DE LIGA, NUEVO C/N, # DE VA Y CANALES FT POR CADA LIGA*
2404 FOR I=1 TO I5
2405   INPUT J, C1,F4,F3
2406   C1(J)=C1
2407   F4(J)=F4
2408   F3(J)=F3
2409 NEXT I
2410 CLOSE #10
2411 RETURN

```

WATTS

147

FILE

USE DEL SATELITE	ANCHO DE BANDA SAT.		NUM. TOTAL DE	
DISPONIBLE MARGEN	REQUERIDO	DISPONIBLE	REQUERIDO	DISPONIBLE
WATTS	DB	MHZ	MHZ	
77.63	10.7	9.10	9.00	4

25% TRANSFERENCIA HAZ FICEL

Ancho de banda de 45 KHz.

ESTACIONES	REQUERIDO	CANALES DE VOZ		NUMERO		G/T DEL RECEPTOR	TEMPERATURA	GANANCIA ANTENA
	C/N	FREQ/C/S	FREQ/C/S	DE	DE			
	DB	DBM	DBM	AU	TC	DB/K	K	DB
ME/CIC	14.0	4.0	48.2	1	3	23.0	85	42.3
ME/CIE	14.0	3.9	48.2	1	3	23.0	85	42.6

C/N)S	(C/N)T	(C/N)R	(C/N)TOTAL	(C/N) TOTAL
75.6	80.0	60.0	59.8	14.0
75.0	79.9	60.0	59.8	14.0

PIRE DEL SATELITE			1.48		NUM. TOTAL DE CANALES UNIDIA.
REQUERIDO DISPONIBLE MARGEN			ANCHO DE BANDA SAT. REQUERIDO DISPONIBLE		
WATTS	WATTS	DB	MHZ	MHZ	
8.62	77.63	19.7	0.18	9.00	4

250 TRANSPONDEDOR. HAZ PINCEL

Ancho de Banda de 45 KHz.

ENLACE ESTACIONES	REQUERIDO C/N	CANALES DE VOZ		NUMERO DE CANALES	G/T DEL RECEPTOR	TEMPE- RATURA	GANANCIA ANTENA
	DB	PIRE/CAN	PIRE/CAN	AV TC	DB-F	F	DB
1 IIE/CIC	14.0	4.0	48.5	1 1	23.0	100	43.0
2 CIC/IIE	14.0	4.0	48.5	1 1	23.2	100	43.3

ENLACE	(C/N)S	(C/N)T	(C/N)B	(C/N)TOTAL	(C/N) TOTAL
1	75.4	80.0	60.0	59.8	14.0
2	75.0	80.0	60.0	59.8	14.0

E DEL SATELITE		ANCHO DE BANDA SAT.		NUM. TOTAL DE CANALES UNITR.
DISPONIBLE	MARGEN	REQUERIDO	DISPONIBLE	
WATTS	DB	MHZ	MHZ	
77.63	10.7	0.18	9.00	4

252 TRANSFONDEROS. HAZ PINCEL

Ancho de banda de 45 KHz.

CONDICIONES	REQUERIDO		CANALES DE VOZ		NUMERO DE CANALES		G/T DEL RECEPTOR	TEMPE- RATURA K	GAINANCIA ANTENA DB
	C/N	PIRE/C/S	PIRE/C/S	PIRE/C/M	AV	TC			
EXCIC	14.0	4.0	4.0	48.5	1	1	23.0	120	43.3
EXIIE	14.0	4.0	4.0	48.5	1	1	23.2	120	44.0

(C/N)S	(C/N)T	(C/N)R	(C/N)TOTAL	(C/N) TOTAL
75.4	80.0	60.0	59.6	14.0
75.1	80.0	60.0	59.3	14.0

ANEXO III.- CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL SISTEMA .

Uno de los principales parámetros por especificar en el diseño de un enlace vía satélite es la figura de mérito (G/T), que depende del diámetro de la antena y la temperatura del sistema, y que describe la capacidad de una estación terrena para recibir las señales provenientes del satélite.

El parámetro T, que define la temperatura del sistema, es una función del diseño y construcción de la sección de radio frecuencia en la etapa de recepción, que incluye la temperatura de ruido debido a desacoplamientos de impedancia, ruido de fuga del transmisor la temperatura de ruido del medio ambiente y de la antena, y principalmente de la temperatura de ruido del preamplificador de bajo ruido.

En la figura A.III se muestran los parámetros involucrados en el cálculo de la temperatura del sistema.

La temperatura de ruido del sistema receptor, referido a la entrada del subsistema ABR (Preamplificador de bajo ruido), está dada por la siguiente expresión:

$$T_s = T_A/L_F + (L_F - 1)T_0 / L_F + T/ABR + T/VSWR + T/T_x + \frac{T/RX}{G/ABR}$$

en donde:

T_s = Temperatura de ruido del sistema.

T_A = Temperatura de ruido de la apertura de la antena a 4 GHz, a una elevación de 13°. Este parámetro tiene un valor típico de 22.5 °K.

L_F = Pérdidas óhmicas del alimentador de la antena en la banda de recepción. Este parámetro tiene un valor máximo de 0.2 dB.

T_0 = Temperatura del medio ambiente (+ 50°C), 323 °K.

T/ABR = Temperatura de ruido a la entrada del subsistema del ABR a + 50°C, 97 °K. Este parámetro alcanza los 80 °K para un preamplificador único a la temperatura ambiente de + 25 °C. A la temperatura ambiente de + 50 °C la temperatura de ruido del preamplificador se degrada a 92 °K. Ya que este subsistema es, en la práctica, de configuración redundante, habrá que añadir la contribución de ruido del interruptor de guía de onda, y cuyo valor típico es de 5 °K.

$T/VSWR$ = La temperatura de ruido a la entrada del ABR, debido a desacoplamientos de impedancia. Tiene un valor máximo de 6 °K.

T/T_x = Ruido térmico del transmisor con la banda de frecuencias de 4 GHz debido al filtro del rechazo y aislamiento del alimentador. El valor típico es de 2 K.

$\frac{T/R_x}{G/ABR}$ = Temperatura de ruido referida a la entrada del sub sistema ABR que depende del diseño del sistema y su construcción. Este parámetro tiene un valor de 0.5°K, y 2.0 °K usando un subsistema ABR con ganancia de 50 dB

En tecnología de receptores de microondas, un parámetro que representa la potencia de ruido en el subsistema receptor es la figura de ruido en dB, mientras que en receptores de bajo ruido (utilizados en comunicaciones espaciales), el ruido se presenta como una temperatura del subsistema receptor en °K. La relación de temperatura de ruido a figura de ruido es logarítmica. La figura B. III, muestra la conversión figura de ruido/temperatura de ruido, y para fines de cálculo de la temperatura total del sistema, esta carta nos proporciona una rápida estimación entre estos parámetros.

NOTA: Los datos de cifras típicas empleadas en esta ecuación fueron proporcionados por Harris Corporation, Satellite communications Division.

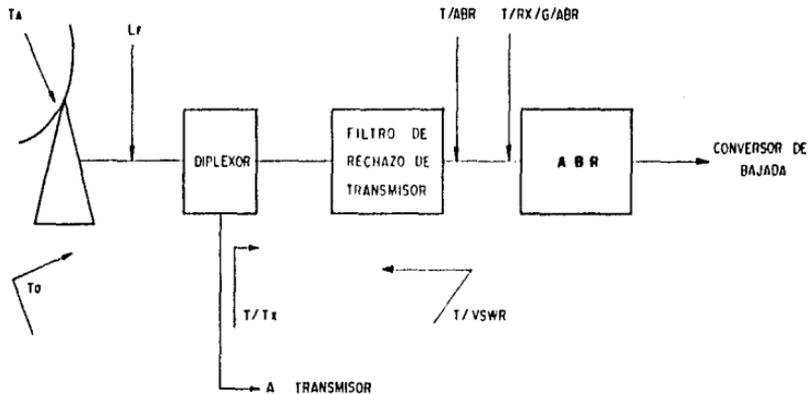


Fig. A. III.- PARAMETROS CONSIDERADOS EN EL CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL SISTEMA (ETAPA DE R.F., SECCION DE RECEPCION, BANDA DE 4 GHz).

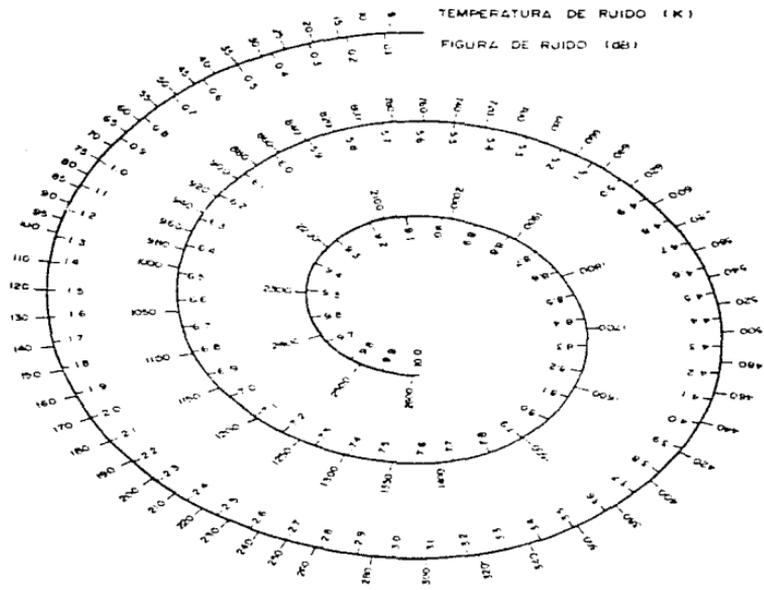


Fig. B.III. — CARTA DE CONVERSION FIGURA DE RUIDO / TEMPERATURA DE RUIDO, dB / K.

ANEXO IV. - SISTEMA DE SATÉLITES MEXICANOS .

Con la puesta en servicio del Sistema de Satélites Morelos en el año de 1985, México dejó de utilizar satélites rentados del tipo Intelsat para sus comunicaciones domésticas que operaban en la banda de frecuencias denominada Banda C y utilizar sus propias facilidades espaciales para cubrir su demanda de servicios de telecomunicaciones que en esa época consistía de tráfico telefónico y transmisión de señales de TV del tipo analógico con cobertura nacional a través de la Red Nacional de Estaciones Terrenas cuya infraestructura consistía de 196 estaciones terrenas con diámetros de antenas de 5, 7 y 11 mts. Una de las dificultades que representó este cambio de satélites, es que mientras los Satélites Intelsat utilizaban polarización circular, los Satélites Morelos utilizaban la técnica de re-uso de frecuencias en banda C mediante polarización ortogonal, lo que requería un valor de discriminación de polarización cruzada mayor o igual a 30 dB. Esta situación requirió el cambio de subsistemas de alimentadores principalmente de las antenas de 7 y 11 mts. de la Red Nacional .

Es importante mencionar que los Satélites Morelos, fueron los primeros satélites del modelo HS-376 de Hughes Aircraft Co. en utilizar dos bandas de frecuencias (Banda C y banda Ku), de aquí el nombre de satélites híbridos.

La banda de frecuencias Ku, por sus características de propagación, requirió de estudios técnicos para poder determinar los márgenes de operación respecto a la atenuación por lluvia, utilizando el modelo de Crane, dentro del área de cobertura de los satélites mexicanos.

El Centro de Control de Satélites ubicado en Contel, Iztapalapa, D.F. , forma parte del segmento terrestre del Sistema de Satélites Mexicanos, y además de sus funciones de rastreo, telemetría, comando y medición de rango, tiene la responsabilidad de la supervisión del tráfico accediendo a los satélites . El autor de esta tesis desarrolló e implementó el Centro de Monitoreo y Supervisión de Redes, cuyo propósito es verificar los parámetros de transmisión asignados a las redes de telecomunicaciones vía satélite, evaluar el desempeño de transpondedores, y detectar emisiones no autorizadas.

La Banda de frecuencias KU, ofreció como principal ventaja el uso de antenas hasta de 2.4 mts. de diámetro, y mediante la utilización de estaciones tipo VSAT, se originó un auge en la transmisión de voz y datos vía satélite, por la economía que esto representaba en los sistemas de transmisión.

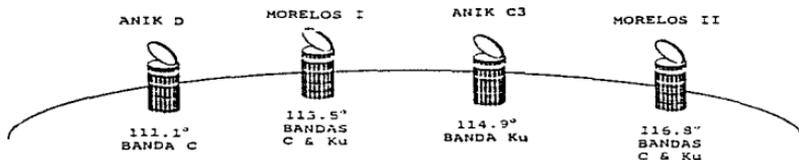
Cabe mencionar que debido al bajo tráfico existente al inicio de operaciones ,el Satélite Morelos 2, se estacionó en una órbita denominada de almacenamiento o deriva, lo que permitió llegar a su posición orbital de 116.8° Oeste hasta 1989 ,con el mínimo consumo de combustible.

En el periodo de 1984-1990, se tuvo una estrecha coordinación de frecuencias con Telesat, organización canadiense operadora de los Satélites Anik y con operadores de satélites estadounidenses . Los resultados obtenidos de estas reuniones técnicas fueron la coordinación del tráfico del Sistema de Satélites Morelos , la obtención de la tercera posición orbital para México de 109.2° Oeste, la separación de 1.9° entre los Satélites Mexicanos y Canadienses, y el cambio de la envolvente del patrón de radiación de las

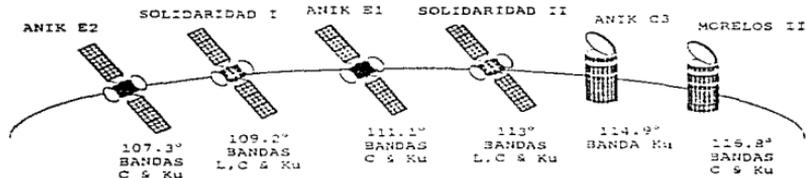
antenas de 32-25 log θ a 29-25 log θ para sistemas operando en ambas bandas de frecuencias. Es importante mencionar que la experiencia obtenida de estas discusiones técnicas , sirvió como referencia para la especificación del Sistema de Satélites Solidaridad , en Banda C y Banda Ku .

En la fig.A.IV se muestran los escenarios del Sistema de Satélites Mexicanos en 1989 y 1994.

Durante el año de 1990, se desarrollaron las especificaciones técnicas para la adquisición de la Segunda Generación de Satélites Mexicanos, denominados Sistema de Satélites Solidaridad y cuyo modelo seleccionado fué el HS-601 de Hughes Aircraft Co. Este Sistema de Satélites representó una importante evolución en la tecnología de satélites para México debido principalmente a su cobertura regional, el uso de tres bandas de frecuencias (BANDAS C, Ku y L), mayor tiempo de vida esperado hasta 14 años, transpondedores más eficientes en Banda Ku, utilización de



a) ESCENARIO DEL SISTEMA DE SATÉLITES MEXICANOS EN 1989.



b) ESCENARIO DEL SISTEMA DE SATÉLITES MEXICANOS EN 1994.

FIG.A.IV.- COLINDANCIA ENTRE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES MEXICANOS Y CANADIENSES (OBSÉRVESE LA SEPARACIÓN DE 1.9° ENTRE SATÉLITES EN EL ESCENARIO b).

amplificadores de estado sólido en Banda C y Banda L ,la optimización de las coberturas de las antenas de los Satélites , mayor flexibilidad en la configuración redundante de los amplificadores de alta potencia del satélite,la creación del Centro de Control Alterno en Hermosillo,Son., la adquisición de un laboratorio de pruebas de carga útil en el Centro de Control Primario, con propósitos de entrenamiento en sistemas de comunicaciones espaciales, y por supuesto ,las adecuaciones en el Centro Primario de Control de Satélites, fundamentalmente en la compatibilidad del software de control en tiempo real.

Finalmente, la participación de ingenieros mexicanos en el proceso de planeación, evaluación de proveedores, diseño, integración y pruebas, lanzamiento y pruebas en órbita, así como el importante plan de entrenamiento llevado a cabo en las instalaciones de Hughes y en sitio, permitió tener una vinculación estrecha con el proveedor, representando esto, el aspecto más relevante del programa Solidaridad. El autor de esta tesis, participó directamente en los procesos mencionados, específicamente en los sistemas de comunicaciones de los satélites y Centros de Control.

En la tabla A.IV se proporcionan las características más relevantes del Sistema de Satélites Mexicanos. Cabe mencionar que el Satélite Morelos 1 (113.5° Oeste) terminó su vida de servicio en Marzo de 1994, siendo reemplazado por el Satélite Solidaridad 1 ubicado en 113° Oeste, en Noviembre de ese mismo año. Actualmente, hay un proyecto para el reemplazo del Satélite Morelos 2, el cual termina su vida útil a mediados de 1992.

TABLA A. IV - CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SISTEMA DE SATÉLITES MEXICANOS.

SOMBRE DEL SATÉLITE	SOLIDARIDAD 2	SOLIDARIDAD 3	SOLIDARIDAD 2
POSICION ORBITAL (° OESTE)	116 8'	109 2'	113°
FECHA DE LANZAMIENTO	28 NOV 85	19 NOV 73	07 OCT 94
MODELO	HS-376	HS-601	HS-601
VEHICULO DE LANZAMIENTO	SLS NASA	ARIANE 4	ARIANE 4
VIDA UTIL (AÑOS)	9	14	14
PROTECCION DE LUZ (SE)	TODOS LOS CANALES	TODOS LOS CANALES	TODOS LOS CANALES
TIPO DE BATERIAS	Ni-Cd	Ni-H	Ni-H
CAPACIDAD DE BATERIAS (A-H)	48	160	160
POTENCIA ELECTRICA (WATTS)	940	3,370	3,370
ESTABILIZACION	GIRO	TRIAXIAL	TRIAXIAL
MASA EN ORBITA (Kg)	666	1,672	1,672
BANDAS DE FRECUENCIAS REV.	14 060-14 500 GHz 5 925-6 425 GHz	14 000-14 500 GHz 5 925-6 425 GHz 1 620-1 660 GHz	14 000-14 500 GHz 5 925-6 425 GHz 1 620-1 660 GHz
TN	11 700-12 200 GHz 3 700-4 200 GHz	11 700-12 200 GHz 3 700-4 200 GHz 1 525-1 559 GHz	11 700-12 200 GHz 3 700-4 200 GHz 1 525-1 559 GHz
POLARIZACION BANDA C BANDA Ku BANDA L	ORTOGONAL LINEAL -	ORTOGONAL ORTOGONAL CIRCULAR DERECHA	ORTOGONAL ORTOGONAL CIRCULAR DERECHA
COBERTURA DE ANTENAS BANDA C BANDA Ku BANDA L	MEXICO-SUR USA MEXICO-SUR USA -	R1,R2,R3 R4,R5 R6	R1,R2,R3 R4,R5 R6
TIPO DE TRANSPONDEDORES BANDA C	TWTA	SSPA	SSPA
TIPO DE AMPLIFICADOR	TWTA	SSPA	SSPA
ANCHO DE BANDA (MHz)	36-72	36-72	36-72
NUMERO DE CANALES	12 (36 MHz), 6 (72 MHz)	12 (36 MHz), 6 (72 MHz)	12 (36 MHz), 6 (72 MHz)
POTENCIA DE SALIDA (WATTS)	7 (36 MHz) 19.2 (72 MHz)	10(R1),16(R2),10(R3) 14.5 (72 MHz)	10(R1),16(R2),10(R3) 14.5 (72 MHz)
BANDA Ku	TWTA	TWTA	TWTA
TIPO DE AMPLIFICADOR	TWTA	TWTA	TWTA
ANCHO DE BANDA (MHz)	108	54	54
NUMERO DE CANALES	4	16	16
POTENCIA DE SALIDA (WATTS)	19.4	45	45
BANDA L	TWTA	SSPA (4)	SSPA (4)
TIPO DE AMPLIFICADOR	-	SSPA (4)	SSPA (4)
ANCHO DE BANDA (MHz)	-	34	34
NUMERO DE CANALES	-	1	1
POTENCIA DE SALIDA (WATTS)	-	24	24

NOMBRE DEL SATELITE	MODULOS 2	SOLIDARIDAD 1	SOLIDARIDAD 2
G.T.(GIBKA)			
BANDA C			
CANALES DE 36 MHZ	-1.5	-5.7(R1), -1.3(R2), -2.6(R3)	-4.7(R1), -1.0(R2), -4.6(R3)
CANALES DE 72 MHZ	-1.2	-2.2	-6.30
BANDA Ka			
CANALES DE 54 MHZ	-	-5.7(R4), -7.5(R5)	-5.4(R4), -7.5(R5)
CANALES DE 108 MHZ	-1.0	-	-
BANDA L	-	-1.28	-1.28
PIRE (GIBWA - SATTILACION)			
BANDA C			
CANALES DE 36 MHZ	36.5	37.6(R1), 36.9(R2), 39.7(R3)	38.9(R1), 36.3(R2), 38.6(R3)
CANALES DE 72 MHZ	39.0	-41	-41
BANDA Ka			
CANALES DE 54 MHZ	-	47.0(R4), 47.4(R5)	48.1(R4), 47.1(R5)
CANALES DE 108 MHZ	44.0	-	-
BANDA L	-	45.3	45.3
DFS (GIBWA) A 0.0B			
BANDA C			
CANALES DE 36 MHZ	-89.0	-94.5(R1), -90.7(R2), -94.3(R3)	-93.7(R1), -93.0(R2), -95.6(R3)
CANALES DE 72 MHZ	-86.5	-89.0	-92.3
BANDA Ka			
CANALES DE 54 MHZ	-	-98.0(R4), 98.5	-98.0(R4), 98.5
CANALES DE 108 MHZ	-89.0	-	-
BANDA L	-	-121.7	-121.7

1) LOS PARAMETROS G.T.,PIRE Y DFS, ESTAN ESPECIFICADOS EN EL EJE DE COBERTURA PARA CADA UNA DE LAS REGIONES.

2) LAS REGIONES DE TRANSMISION EN EL SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD, ESTAN DEFINIDAS DE LA MANERA SIGUIENTE:

NOTAS:

- R1: MEXICO - SUR DE USA - NORTE DE CENTRO AMERICA
- R2: RI = CARIBE - CENTRO AMERICA - NORTE DE SUD AMERICA
- R3: SUD AMERICA, EXCEPTO BRASIL
- R4: MEXICO - SUR DE USA
- R5: SAN FRANCISCO Y FRESNO, CA - ESTE DE USA - CUBA
- R6: MEXICO - MAR PATRIMONIAL

ANEXO V .- IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE EXPERIMENTAL
DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN LA MODALIDAD
SCPC DIGITAL/FDMA EN EL LABORATORIO DE
COMUNICACIONES ESPACIALES DEL CENTRO DE
CONTROL DE SATÉLITES.

I.- INTRODUCCION.

El laboratorio de pruebas de carga útil, fué adquirido en el programa de Satélites Solidaridad y tiene como propósito servir de interfase entre la actividad académica y la ingeniería de operación, en sistemas de comunicaciones espaciales.

En la fig.A.V., se muestra el diagrama funcional del laboratorio y su descripción funcional es la siguiente :

- Generadores de tráfico.- Comprende equipo generador de tráfico analogico (SCPC/FM), equipo de audio digital (DCPC/BPSK), generadores de tráfico digital con modulación M-PSK y con velocidades hasta 1.544 Mb/s. La señal de salida es una FI de 70 ± 30 MHz .
- Simulador del repetidor.- Esta es la sección de RF del laboratorio. Incluye la sección de alta frecuencia, dos transpondedores en Banda Ku y un transpondedor en Banda L. En la fig.B.V., se muestra un diagrama de bloques de este sistema.

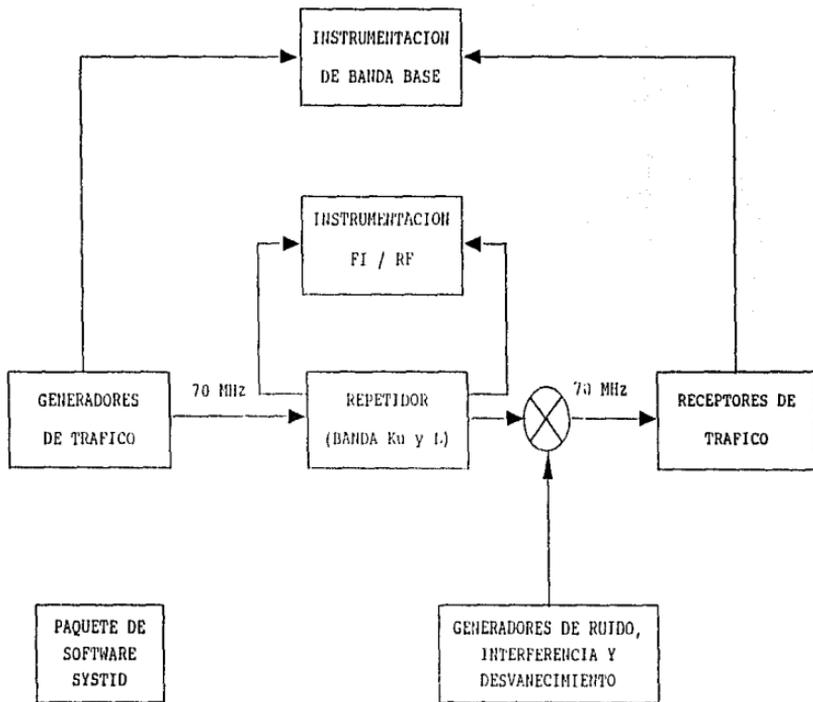


FIG. A.V.- DIAGRAMA FUNCIONAL DEL LABORATORIO DE COMUNICACIONES ESPACIALES.

- **Receptores de tráfico.**- Incluye los demoduladores y el equipo de banda base. La señal de entrada de este subsistema es una FI de 70 ± 20 Mhz.
- **Instrumentación.**- Comprende el equipo para medir parámetros de banda base, FI y RF. También se dispone de un generador de ruido e interferencia, un simulador de desvanecimiento, y un analizador de sistemas de microondas.

Se incluye un paquete de software denominado SYSTID, mediante el cual se pueden modelar sistemas de comunicaciones.

Como una aplicación del laboratorio y su relación con este trabajo de tesis, a continuación se desarrollará la caracterización del sistema de transmisión y la implementación de un enlace experimental de transmisión de datos vía satélite en la modalidad SCPC/QPSK/FDMA, con portadoras de 64 kb/s, FEC 1/2 y operando en Banda Ku.

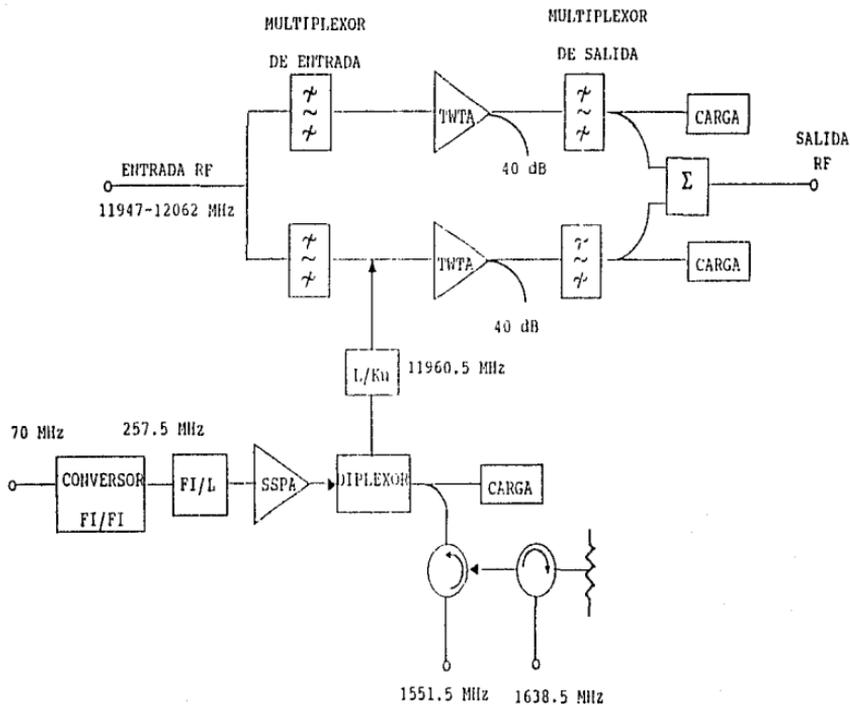


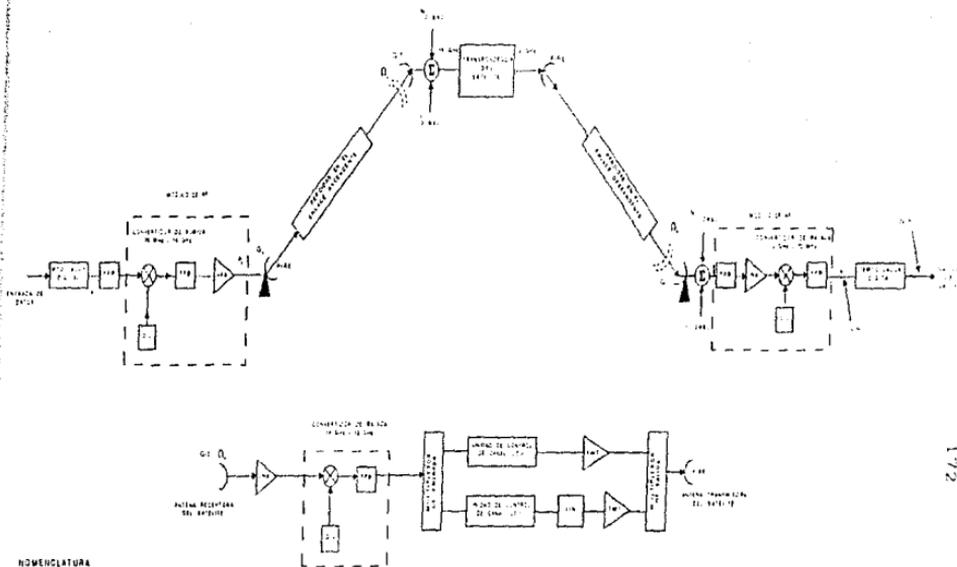
FIG. B.V.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SIMULADOR DEL REPETIDOR.

II.- MODELO DEL SISTEMA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO.

En la figura V.1, se muestra el modelo utilizado para un sistema de transmisión de datos vía satélite. La señal de datos que proviene de las distintas fuentes de información a través de multiplexores, representa una secuencia pseudoaleatoria de bits (dominio del tiempo), que es modulada en fase para obtener un espectro (dominio de la frecuencia) a una frecuencia de 70 MHz (frecuencia intermedia, ó FI). Esta señal se canaliza a través del módulo de radio frecuencia (sección de microondas), mediante una conversión de frecuencia de 70 MHz a 14 GHz al amplificador de alta potencia (HPA), para obtener los niveles de potencia de transmisión a la salida de la antena para su propagación a través de la atmósfera y el espacio libre hacia el satélite (enlace ascendente).

El satélite básicamente es un repetidor de microondas, que recibe la portadora de la estación terrena transmisora, la convierte en frecuencia de 14 GHz a 12 GHz (usualmente se utiliza un factor de conversión de 2300 MHz), se canaliza a través de filtros pasa banda de entrada (multiplexor de entrada), posteriormente se amplifica mediante un IWT y se filtra a través de un multiplexor de salida para enrutarse al subsistema de antena y retransmitirse a la estación terrena

FIG.V.1.- MODELO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES DIGITALES
VIA SATELITE SOLIDARIDAD.



NOMENCLATURA

PI FRECUENCIA INTERMEDIA

RF RADIO FRECUENCIA

HPA AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA

FBP FILTRO PASA BANDA

LNA AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO

O.L OSCILADOR LOCAL

LIN LINEALIZADOR

TAP AMPLIFICADOR DE POTENCIA DEL TIPO DE ONDAS PROGRESIVAS

G.T FIGURA DE MÉRITO (RELACION GANANCIA DE ANTENA CONTRA TEMPERATURA DEL SISTEMA)

PINE POTENCIA EFECTIVA RADIADA ISOTROPICAMENTE

TRONCODEADOR BANDA KU

G_t GANANCIA DE LA ANTENA DE LA ESTACION TERRESTRE TRANSMISORA

P POTENCIA TRANSMITIDA POR EL HPA DE LA ESTACION TERRESTRE

Ω_1 DENSIDAD DE FLUJO DE RECEPCION DEL SATELITE

Ω_2 DENSIDAD DE FLUJO DE RECEPCION DE LA ESTACION TERRESTRE

$N_{0.1}$ DENSIDAD ESPECTRAL DE RUIDO ASCENDENTE DECCENDENTE.

$N_{0.2}$ DENSIDAD ESPECTRAL DE RUIDO ASCENDENTE DECCENDENTE.

D/N RELACION POT. E HYBRICA A RUIDO

RE/N RELACION ENERGIA DE P.A A ENERGIA DE RUIDO

receptora (enlace descendente), así, mediante un proceso inverso al de transmisión, reproducir el mensaje con una calidad apropiada.

Los efectos de ruido, interferencia, distorsión no lineal y atenuación por lluvia, se analizarán más adelante.

Con el propósito de implementar este proceso de transmisión en el laboratorio (excepto el de propagación, ya que no se dispone de elementos radiantes. Sin embargo, los niveles de operación de C/N para los enlaces ascendente y descendente se mantuvieron dentro de los valores estimados en el cálculo de enlace, mediante el uso de generadores de ruido e interferencia), se diseñó la configuración del enlace, como se muestra en la figura V.2.

Debido a que el esquema de transmisión SCPC/QPSK/FDMA por definición requiere de portadoras múltiples en el canal del satélite y operar en la región lineal del transpondedor. Para cumplir con dicho requerimiento, se utilizaron 2 modem's con portadoras QPSK de 64 Kbps, FEC $\frac{1}{2}$, cuya fuente de información está representada por los generadores de tráfico digital, cuya salida es una secuencia de longitud $2^{11}-1$ bits. Ambos modem's generan una densidad espectral de potencia filtrada de cada una de las portadoras del enlace a una frecuencia intermedia de 70 ± 20 MHz.

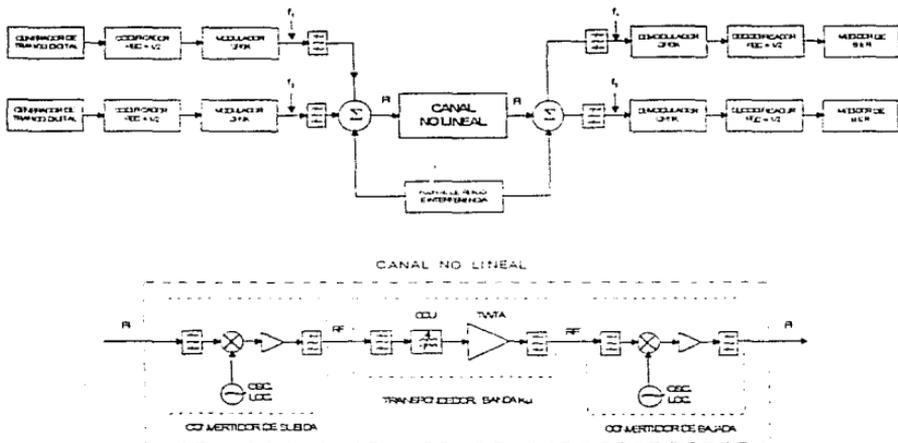


FIG.V.2.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ENLACE EXPERIMENTAL EN LA MODALIDAD SCPC/QPSK/FDMA, IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO.

La frecuencia central de operación del transpondedor es de 11.974 GHz, con un ancho de banda de 54 MHz, por lo que se utilizaron dos convertidores de frecuencia para trasladar el espectro de 70 MHz a esta frecuencia de operación. La configuración del transpondedor consiste de un filtro pasa banda de entrada, un amplificador de alta potencia (TWT) y de un filtro pasa banda de salida, y cuyas especificaciones de respuesta en frecuencia, respuesta de retardo de grupo, conversión AM/AM, conversión AM/PM, niveles de intermodulación de 3er orden (C/3IM) son similares a la de los satélites SOLIDARIDAD, y de esta manera, simular los niveles de potencia (PIRE), y anchos de banda establecidos en el enlace.

Para simular el enlace descendente se requirió de un convertidor de frecuencia para trasladar las señales de RF a una frecuencia intermedia de 70 ± 30 MHz, para posteriormente demodular las portadoras y llevar a cabo la medición de error que representa la calidad del enlace (método denominado fuera de servicio).

Cabe mencionar que estos convertidores de subida/bajada en frecuencia debido a sus características técnicas, son transparentes en aplicaciones de transmisión de datos.

III.- CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

Caracterización de MODEM's digitales.

La cantidad de errores existentes en el demodulador dependen del valor de E_b/N_0 , ya que entre menor sea, mayor cantidad de errores habra en el demodulador. Este parámetro depende del FEC utilizado, el ROLL OFF y del desempeño del modem ante la presencia de ruido e interferencia.

La ecuación para calcular E_b/N_0 en dB, es la siguiente:

$$E_b/N_0 = C/N_T - 10 \log \text{Vel Inf} - 10 \log (AB) \quad (1a)$$

y la ecuación para calcular C/N_T en dB es la siguiente:

$$\left(\frac{C}{N_T} \right) = 10 \log \left[\frac{1}{\text{arctilog} \left(\frac{C}{N_0} - 10 \log AB \right)} + \frac{1}{\text{arctilog} \left(\frac{C}{10} \right)} \right] \quad (1b)$$

donde:

C/N_T = Relación portadora a ruido total del sistema en dB.

Vel Inf = Velocidad de información (64 Kbps).

FEC = Relación de codificación ($\frac{1}{2}$).

FM = Factor de modulación (para QPSK = 0.5).

Roll Off = Característica del MODEM (1.14).

C/N_0 = Relación portadora a densidad de ruido a la entrada del demodulador. (parámetro medido).

AB = Ancho de banda de la portadora (KHz).

$$= \text{Vel Inf} \times \text{FEC}^{-1} \times \text{FM} \times \text{Roll Off}.$$

La fig.V.3 presenta una respuesta típica de bits erróneos recibidos (BER) de un MODEM, bajo distintos niveles de ruido e interferencia. Esta gráfica se obtuvo generando un patrón de bits (banda base) al MODEM, el cual lo modula en fase (QPSK), a la señal en FI se le añade ruido gaussiano blanco e interferencia (señal senoidal en la frecuencia central de la portadora QPSK), posteriormente se inyecta al demodulador, y cuya salida se interconecta a un medidor de error, el cual calcula el BER de la siguiente manera:

$$\text{BER} = \frac{\text{Bits Erróneos}}{\text{Bits Transmitidos}}$$

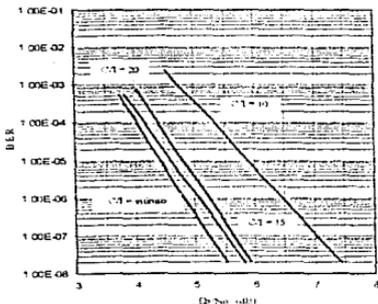


FIG.V.3.-EFECTO DE INTERFERENCIA CO-CANAL EN EL MODEM.

En la fig.V.4 se representa el impacto que tiene el FEC en el modem, resultando en una mayor eficiencia en potencia, para el valor de $\frac{1}{2}$. Cabe señalar que una variación de 1 dB en Eb/No causa una importante degradación del enlace.

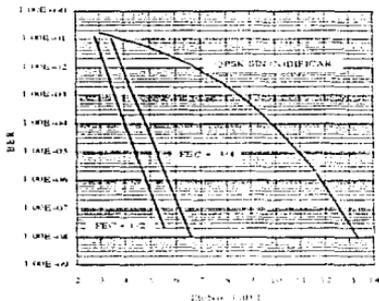


FIG.V.4.-CURVA DE DESEMPEÑO DEL MODEM CON RUIDO GAUSSIANO BLANCO ADITIVO.

La relación de codificación (FEC), se refiere a la cantidad de información redundante que se envía, y de esta manera mejorar el BER y además el nivel de potencia necesario para lograr el enlace con la misma calidad, será menor. Sin embargo, esto se traduce en un decremento en la eficiencia espectral del modem. El modem bajo prueba dispone de un codificador convolucional y un decodificador secuencial.

Caracterización del canal de transmisión.**a) Amplificador TWTA.**

El amplificador de alta potencia del transpondedor proporciona una potencia de salida de 50 watts, el cual contiene un colector con electrodos de grafito, un circuito de onda lenta tipo hélice y un cátodo tipo M.

Los amplificadores tipo TWT presentan características no lineales conforme se acercan al punto de saturación, por lo que se tiene la opción de utilizar linealizadores con el fin de mejorar la respuesta de los mismos.

En la fig.V.5 se muestra la curva de transferencia de ganancia o conversión AM/AM, de un amplificador linealizado y no linealizado el cual tiene características similares a los utilizados en los satélites SOLIDARIDAD. Para obtener el punto de saturación del amplificador se utilizó la técnica de cancelación de AM.

La aplicación de estas curvas para esquemas de transmisión SCPC/QPSK/FDMA nos permiten determinar la región óptima de operación del TWTA. Los valores típicos de Back-Off entrada/salida en dB (reducción en la potencia para operación con múltiples portadoras), son de 3.5/4.0 para un canal no linealizado, y 7.5/5.1 para un canal linealizado.

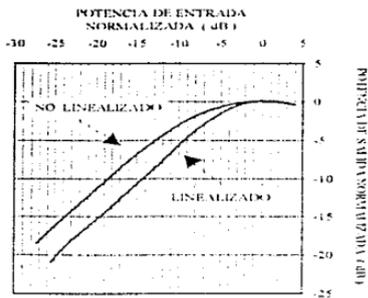


FIG.V.5.-CURVA DE TRANSFERENCIA DE GANANCIA.
($f_c = 11974$ MHz)

Cuando un amplificador opera en la región no lineal, se producen señales a la salida del amplificador, que se conocen como productos de intermodulación, de los cuales los que más afectan son los de tercer orden ya que se encuentran muy cerca de las señales originales, provocando interferencia, a los canales adyacentes. Estos productos de intermodulación implican un consumo indeseable de potencia de RF disponible del amplificador.

En las Figs. V.6 y V.7 se presentan las respuestas de linealidad de amplitud del transpondedor, observándose que en un canal lineal los productos de intermodulación de 3er orden son de una magnitud menor que los de un canal no linealizado, representando una eficiencia en la potencia del TWT.

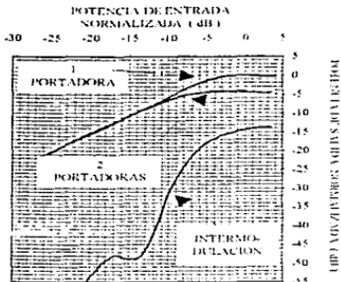


FIG.V.6.-LINEALIDAD EN AMPLITUD, CANAL LINEALIZADO.
($f_c = 11974$ MHz)

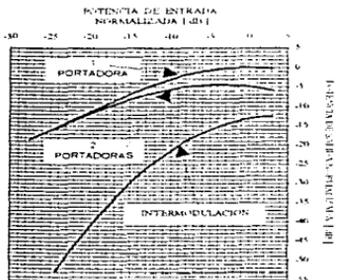


FIG.V.7.-LINEALIDAD EN AMPLITUD, CANAL NO LINEALIZADO.
($f_c = 11974$ MHz)

En la fig.V.8 se muestra la curva de conversión AM/PM que es una característica del amplificador TWT, que causa un desplazamiento no lineal de fase entre entrada y salida, respecto a una variación en el nivel de la señal de entrada. Típicamente esta respuesta se obtiene mediante una portadora de prueba modulada en frecuencia y en amplitud (método AM), con una desviación de 200 KHz rms.

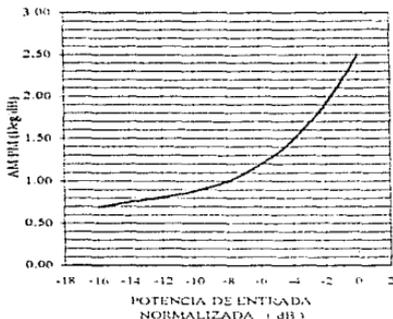


FIG.V.8.-CURVA DE CONVERSIÓN AM/PM.

b) Filtros multiplexores entrada y salida.

Los filtros multiplexores de entrada/salida son resonadores cilindricos con un patrón de modo TE₁₁₃ / TE₁₁₄, y configuración 3,4,0 / 6,2,0 respectivamente.

La figura V.9 contiene la respuesta en frecuencia en banda del canal, que es una medida de la respuesta en amplitud sobre el ancho de banda del canal. Usualmente esta medición se realiza a 15 dB abajo del nivel de saturación del TWTA, para no tener efecto del ruido del transpondedor.

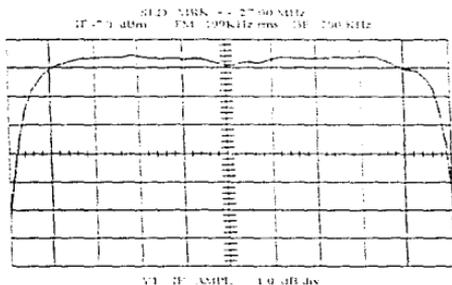


FIG.V.9.-RESPUESTA EN FRECUENCIA EN BANDA.

c) Respuesta de retardo de grupo.

La fig.V.10 contiene la curva de la respuesta del retardo de grupo, que es una medida del retardo de una señal que pasa a través de un canal de comunicaciones y está directamente relacionada al desplazamiento de fase. Usualmente esta medición se realiza a 15 dB abajo del nivel de saturación del TWT para no tener efecto del ruido y se utiliza una señal de prueba modulada en frecuencia con una desviación típica de 200 KHz rms. Esta respuesta incluye, las componentes lineales, parabólicas y de rizo del retardo de grupo.

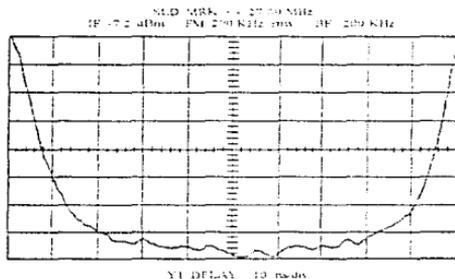


FIG.V.10.-RESPUESTA TOTAL DE RETARDO DE GRUPO.

d) Distorsión no lineal en QPSK.

En la fig.V.11 se muestra el impacto de la no linealidad del TWT, en la modulación QPSK, que ocasiona una dispersión del espectro.

Este efecto consiste en la formación de lóbulos laterales en la densidad espectral de potencia de la portadora y es una causa potencial de interferencia de canal adyacente que degrada la calidad del enlace.

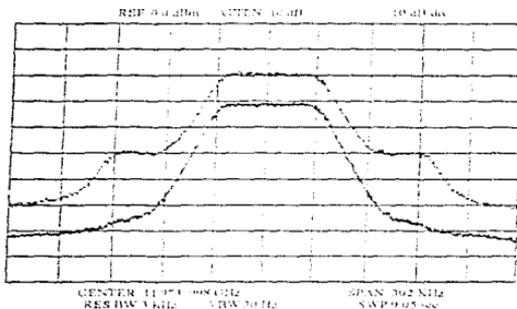


FIG.V.11.-EFECTO DE LA DISTORSION NO LINEAL DEL TRANSPONDEDOR EN LA MODULACION DIGITAL QPSK.

IV.- ANÁLISIS Y MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN.

La ecuación fundamental de transmisión en dB es la siguiente :

$$(C/N)_T = [(C/N)^{-1}_{ASC} + (C/N)^{-1}_{DESC}]^{-1} \quad (2a)$$

donde : C/N_T = Relación portadora a ruido total del enlace

$$C/N_{ASC} = [(C/N_{ASC})^{-1} + (C/I_{ASC})^{-1}]^{-1} \quad (2b)$$

$$C/N_{DESC} = [(C/N_{DESC})^{-1} + (C/I_{DESC})^{-1}]^{-1} \quad (2c)$$

donde : C/N_{ASC} , C/N_{DESC} = Relación portadora a ruido ascendente y descendente respectivamente en dB; C/I_{ASC} , C/I_{DESC} = Relación portadora a interferencia ascendente y descendente respectivamente en dB.

La relación portadora a interferencia (C/I) en dB, es equivalente a la suma de interferencias que intervienen en todo el enlace, es decir :

$$C/I = [(C/I_{IM})^{-1} + (C/I_{SAT ADY})^{-1} + (C/I_{POL})^{-1}]^{-1} \quad (2d)$$

donde : C/I_{IM} = Relación portadora a interferencia por intermodulación; $C/I_{SAT ADY}$ = Relación portadora a interferencia por satélites adyacentes; C/I_{POL} = Relación portadora a interferencia por polarización cruzada más la interferencia por canal adyacente.

Cuando $(C/N) < (C/I)$ se dice que el enlace es dominado por el nivel de ruido mientras que para el caso $(C/I) < (C/N)$ el enlace es dominado por la interferencia. Si $(C/N)_{ASC} \gg (C/N)_{DESC}$ entonces $(C/N)_{TOTAL} = (C/N)_{DESC}$ en este caso, se dice que el enlace via satélite es limitado en el enlace descendente. Este es el caso común en comunicaciones via satélite.

Los parametros de transmisión se determinaron en base a las ecuaciones descritas, tomando en cuenta el Sistema de Satélites SOLIDARIDAD y cuyos resultados de los cálculos se muestran en la tabla V.1.

TABLA V.1
CÁLCULO DE ENLACE
Satélite SOLIDARIDAD 1 (109.2 °. Banda Ku).

Enlace	Mexico/Ensenada	Ensenada/Mexico
Diámetro de antena	3.70 m	3.70 m
Velocidad de Transmision	64.00 Kbps	64.00 Kbps
Ancho de Banda Ocupado	72.96 KHz	72.96 KHz
PIRE/portadora (E/T)	-42.19 dBw	-44.24 dBw
Relacion C/N Ascendente	23.86 dB	24.36 dB
Relacion C/I Ascendente	17.25 dB	17.85 dB
PIRE/portadora (Satelite)	16.40 dBw	16.40 dBw
Relacion C/N Descendente	18.52 dB	18.66 dB
Relacion C/I Descendente	13.72 dB	14.31 dB
Relacion C/N Total	11.09 dB	11.50 dB
Eb/No Requerida	-4.60 dB	-4.60 dB
Disponibilidad del enlace	99.80 %	99.80 %
Margen por Lluvia	-4.20 dB	-3.00 dB

Tipo de portadora digital QPSK, FEC $\frac{1}{2}$, BER 10^{-7} . Cálculos sin considerar interferencia terrestre.

En la figura V.12 se muestra el diagrama de nivel del enlace, para una PIRE/portadora del satélite de 16.4 dBw que es el valor máximo permitido, para una portadora de 64 Kbps.

En las figuras V.13,V.14,V.15,y V.16 se observan los espectros y niveles de las portadoras en FI, C/N ascendente, C/N descendente y C/I descendente, con los valores calculados.

Es importante mencionar que la Eb/No requerida es la calidad mínima, necesaria para el enlace, a cielo despejado. Sin embargo en la implementación en el laboratorio, se obtuvo una Eb/No de 11.5 dB, la cual corresponde de acuerdo a la fig.V.4, a una P(e) de 1×10^{-7} , cuyo resultado se considera satisfactorio.

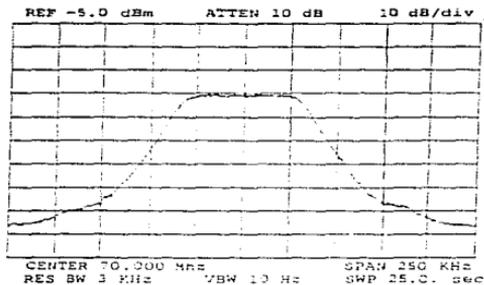


FIG.V.13.-DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA DE LA PORTADORA QPSK. 64 Kbps, FEC 3/4.

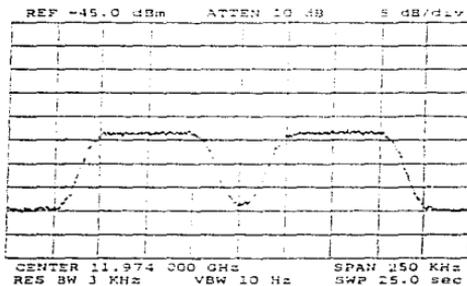


FIG.V.14.-C/N ASCENDENTE.

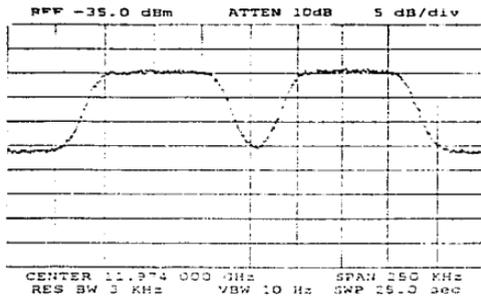


FIG.V.15.-C/N DESCENDENTE.

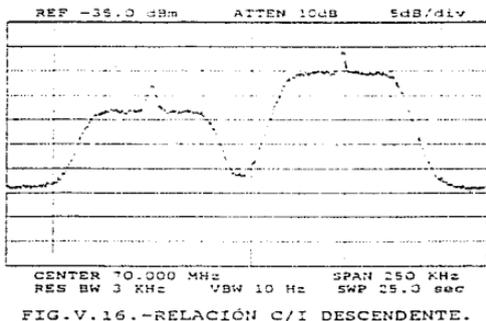


FIG.V.16.-RELACION C/I DESCENDENTE.

La disponibilidad del enlace se enfoca al porcentaje de efectividad producido por lluvia tanto en el enlace ascendente como descendente. Cabe mencionar que la lluvia causa atenuación a la señal de comunicaciones e incrementa la temperatura de ruido del sistema degradando la E_b/N_0 , por lo que el margen calculado compensa estas degradaciones.

La ecuación general para obtener el margen por precipitación es :

$$L = \alpha R_p^{\beta} (e^{uL} - 1) / u\beta \quad (3a)$$

donde : L = Atenuación por lluvia en dB; R_p = Razón de lluvia en mm/hr; α y β constantes multiplicativa y exponencial respectivamente relacionadas con la frecuencia de operación del enlace satelital,

$$D = (H - H_0) / \tan \theta \quad (3b)$$

donde : D = Longitud de la radio trayectoria afectada por lluvia; H = Altura de la isoterma a 0° C; H_0 = Altura sobre el nivel del mar de la estación terrena; θ = Ángulo de elevación de la antena; u = Constante empírica del modelo.

La ecuación para la constante empírica u es la siguiente:

$$u = \ln [b e^{cd}] / d \quad (3c)$$

donde : $b = 2.3 R_p^{-0.17}$

$c = 0.026 - 0.03 \ln R_p$

$d = 3.8 - 0.6 \ln R_p$

El modelo anterior se le conoce como el modelo de CRANE para atenuación por lluvia.

Existen otros modelos aplicables, para obtener esta atenuación, sin embargo el modelo de CRANE, no solo toma en cuenta la región en donde se localiza la estación terrena, sino también la frecuencia de operación del enlace, obteniéndose un margen más real.

Finalmente, aunque en el laboratorio de comunicaciones espaciales del Centro de Control de Satélites, perteneciente a Telecomunicaciones de México, no se cuenta con elementos radiantes (antenas), podemos estimar factores de conversión que nos permiten calcular los valores de potencia equivalentes a la entrada y salida del canal de comunicaciones (transpondedor). Adicionalmente, las condiciones de radiopropagación del enlace (efectos de lluvia, ruido e interferencia), fueron simuladas con el equipo disponible, excepto el retardo por radio trayectoria.