

108
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS
DE ENLACE PARA TRANSMISION Y
RECEPCION DE DATOS VIA SATELITE**



FALLA DE ORIGEN

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

Guillermo Rojas Reyes

Jorge Tokunaga Flores

Facundo Valdez Pedraza



Director de Tesis: M.C. Amanda Gómez González

México, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROLOGO

Esta tesis se dedica al análisis y diseño de un sistema de comunicación utilizando el satélite Morelos I, así como el modelado de la estación terrena y siendo posible extender su aplicación al Morelos II o a cualquier otro satélite doméstico, efectuando los cambios necesarios en los parámetros.

La obra está dividida en siete capítulos en los cuales se analizan, en forma detallada, los diferentes parámetros para lograr, lo mejor posible, un enlace eficiente, contemplando al mismo tiempo el aspecto económico.

En el primer capítulo, se describe de una forma breve, el panorama general de las comunicaciones por vía satélite desde sus inicios hasta los actuales sistemas complejos y el desarrollo que éstos han tenido en nuestro país.

El segundo capítulo se refiere a las características principales del satélite Morelos y hace mención de los parámetros más importantes que se requieren para llevar a cabo dicho enlace.

En el tercer capítulo, como el título lo indica, se

analizan los requerimientos del enlace, es decir, veremos una aplicación práctica utilizando una red de teleproceso el cual comunicará a un sistema de cómputo con sus respectivas terminales.

El cuarto capítulo se refiere a los tipos de enlace entre la estación terrena y el satélite, haciendo una comparación entre los diversos tipos y la selección del sistema más apropiado para nuestro caso.

El quinto capítulo se dedica a la selección del equipo que se requiere para llevar a cabo el enlace, tales como; el MODEM, el amplificador de bajo nivel de ruido (LNA), y el diámetro de la antena. Aunque cabe señalar que tanto la potencia como el diámetro y la temperatura se optimizarán en un capítulo posterior.

En el sexto capítulo se muestra la forma de llevar a cabo un enlace vía satélite, explicando cada una de las variables que intervienen en el cálculo del mismo.

En el séptimo capítulo se emplea un programa de computadora el cual optimiza los costos del equipo del enlace para una recepción óptima de la señal.

Finalmente, se muestran las conclusiones que se obtuvieron al efectuar el presente trabajo, así como la bibliografía de la cual se dispuso para la realización de este estudio.

INDICE

PROLOGO	1
INDICE	4
Capítulo 1 INTRODUCCION.	7
1.1 Evolución histórica.	8
1.2 Sistemas domésticos.	15
1.3 El satélite para transmisión de datos.	17
Capítulo 2 CARACTERISTICAS DEL SATELITE MORELOS.	22
2.1 Antecedentes.	23
2.2 Subsistemas de comunicaciones.	24
2.3 Equipo repetidor.	27
2.4 Subsistema de antenas.	28
2.5 Conclusiones del capítulo.	32
Capítulo 3 REQUERIMIENTOS DE ENLACE.	34
3.1 Aspectos generales de una red de teleproceso.	35
3.2 Clasificación de los subsistemas de computo.	38
3.3 Categorías funcionales.	40
3.4 Terminología en teleproceso.	42
3.5 Códigos de transmisión.	44

3.6	Transmisiones sincrónicas y asincrónicas.	45
3.7	Fundamento de corrección de errores.	47
3.8	Conclusiones del capítulo.	53
Capítulo 4	SISTEMAS DE ACCESO MÚLTIPLE.	55
4.1	Generalidades.	57
4.2.	Acceso múltiple por división de frecuencia.	60
4.3	Acceso múltiple por división de tiempo.	69
4.4	Acceso múltiple por división de código.	77
4.5	Acceso múltiple por asignación de demanda.	79
4.6	Conclusiones del capítulo.	80
Capítulo 5	ELECCION DE DISPOSITIVOS DE ENLACE.	83
5.1	Generalidades.	84
5.2	Configuración de las estaciones terrenas.	88
5.3	Antenas.	89
5.4	Amplificadores de bajo nivel de ruido.	92
5.5	Convertidores.	94
5.6	Amplificador de alta potencia.	95
5.7	Modems.	97
5.8	Estaciones terrenas.	99
Capítulo 6	CALCULO DE ENLACE.	101
6.1	Generalidades.	102
6.2	Potencia de la señal recibida.	103

6.3	Eficiencia de la antena, ganancia y ancho de b.	109
6.4	Temperatura de ruido.	112
6.5	Figura de mérito de una estación receptora.	121
6.6	Relación portadora ruido en la entrada del recep.	123
6.7	Influencia del medio de propagación en la señal.	123
6.8	Transmisión de señales analógicas.	129
6.9	Transmisión digital.	136
6.10	Diseño de enlace para SCPC.	144
6.11	Conclusiones del capítulo.	148
Capítulo 7	OPTIMIZACIÓN S/N VS. COSTOS.	150
7.1	Diagrama general del Programa.	152
7.2	Diagrama de flujo.	153
7.3	Resultados del programa.	161
CONCLUSIONES.		190
BIBLIOGRAFIA.		192

CAPITULO 1

INTRODUCCION.

En el presente capítulo se describe en una forma breve el panorama histórico de los sistemas de comunicación vía satélite, así como las principales características de los satélites domésticos y sus aplicaciones en la transmisión de datos.

que científicos y operadores aficionados trataran de recoger señales radiales. Así como el que miles de personas escudriñaran el cielo con binoculares, buscando una esfera metálica de 58 cm. de diámetro, fué el lanzamiento del Sputnik I por la Unión Soviética el 4 de Octubre de 1957. Este primer satélite artificial -de 84 kilogramos- se desplazó a una velocidad de 28 800 kilómetros por hora, circundando a nuestro planeta en una hora con 36 minutos, transmitiendo información de telemetría por 21 días. Este gran acontecimiento fué seguido por una gran actividad espacial por parte de los Estados Unidos hasta que en Enero de 1958 fué lanzado el Explorer I, el cual transmitió telemetría por cerca de 5 meses. El primer satélite utilizado para comunicación de voz fué el Score, lanzado en Diciembre de 1958, en él se envió un mensaje de Navidad por el presidente Eisenhower. (Naxel.66)

El primer satélite de comunicaciones, propiamente dicho, el Echo I, se lanzó el 8 de agosto de 1960, éste era un globo de plástico de 30 metros de diámetro, cubierto con una delgada capa de aluminio para reflejar las transmisiones de radio. Un segundo Echo, más grande, se puso en órbita en 1964. Hasta aquí, todos los satélites habían sido pasivos. Estos no amplificaban las señales de radio, sino que simplemente las reflejaban. Estos tipos de satélites no son

realmente prácticos, a causa de su gran tamaño y el poderoso equipo requerido para enviar y recibir mensajes.

El valor comercial de los satélites de comunicaciones se probó en Julio de 1962, cuando el primer experimento no gubernamental en comunicaciones espaciales permitió que la Bell System construyera el Telstar I, éste era un repetidor en tiempo real que amplificaba y retransmitía hasta 60 conversaciones telefónicas bidireccionales al mismo tiempo, el cual fue colocado por la NASA en una órbita elíptica a una altitud media y así se demostró la posibilidad de usar repetidores del ancho de banda de las microondas para telecomunicaciones comerciales. Los experimentos continuaron y así fue como la NASA lanzó el Relay I en diciembre del mismo año (1962). Este satélite construido por la RCA, se utilizó para experimentos primitivos (pruebas) con transmisión de voz, video y datos. (Heraldo, 66)

A principios de los 60's se empezaron a hacer importantes conjeturas sobre cual era la mejor órbita que debería usar un satélite de comunicaciones. Así se vio que los sistemas de altitudes medias tenían la ventaja de reducir los costos de lanzamiento y tener un tiempo de propagación de las radio frecuencias relativamente corto. Su desventaja era rastrear al satélite en órbita con estaciones terrenas y

transferir las operaciones de un satélite a otro; por lo que no se aprovechaba, durante todo el tiempo a un solo satélite de la red. La órbita síncrona, sugerida por Arthur C. Clarke a mediados de los 40's, parecía ser la solución (esta órbita se encuentra en el plano ecuatorial y su período orbital está sincronizado por el movimiento de rotación de la tierra). A pesar de su conveniencia no fue recibida con mucho entusiasmo ya que se tenían serias limitaciones como era el gran retardo en la propagación, los costos y la complejidad del lanzamiento. La ventaja de esta órbita es que se creía factible cubrir toda la superficie terrestre con sólo tres satélites, cada uno mantendría una posición estacionaria y así cubriría una tercera parte de la superficie terrestre. De esta manera la estación terrena de rastreo se usaría únicamente para la corrección de perturbaciones menores en la órbita.

El primer intento para una órbita síncrona fue realizado por la NASA, lanzando en Febrero de 1963, el SYNCOM I. En una órbita de esta clase, un satélite completa una vuelta a la Tierra en el mismo tiempo en que ésta completa una rotación sobre su eje. Una altitud de 35 680 kilómetros sobre el plano del Ecuador provee una órbita como la descrita. (SCT,85)

De 1965 a 1969, la Unión Soviética lanzó una serie de 12

satélites Molniya en órbitas no síncronas, más bien son altamente elípticas y de gran altitud, estos proveen de comunicaciones de televisión y voz en forma local y también a zonas de Europa Oriental. Después los Soviéticos comenzaron a establecer una red de estaciones síncronas llamadas Stationares. A fines de 1975 se lanzó y se puso en órbita el primer Stationar.

Merece una mención muy especial el Consorcio de Satélites para Telecomunicaciones Internacionales (Intelsat), el sistema más extenso de satélites. Esta organización cuyos miembros son cerca de cien naciones se formó en julio de 1964, en acuerdo con la resolución No. 1721 de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Su primer satélite síncrono, Early Bird (Intelsat I), se lanzó el mes de abril de 1965. Este ha sido una marca en el desarrollo de los satélites de comunicaciones para uso comercial. La evolución del sistema Intelsat desde sus primeros tiempos hasta la fecha ha sido una dramática sucesión de satélites en los que se incrementa su capacidad, así como el número de estaciones terrenas que forman la red.

Hasta mediados de la presente década nuestro país se estuvo enfrentando con serios problemas que resultaron de deficiencias de la Red Nacional de Telecomunicaciones. El

relieve del territorio nacional aunado a la mala distribución demográfica ocasionaron que algunas poblaciones quedaran prácticamente incommunicadas del resto del país, ya que se encontraban en zonas muy apartadas de los grandes centros urbanos.

Uno de los objetivos de nuestro gobierno era el de proporcionar medios de comunicación a toda la población para que de esta manera todos formaran parte del desarrollo del país. Sin embargo, en los últimos años las necesidades de la población, en materia de comunicaciones, crecieron de una manera desmesurada ocasionando que nuestra red de comunicaciones, en aquel entonces, formada principalmente por la Red Federal de Microondas, la Red Nacional de TELEX, la Red de Transmisión Telegráfica, la Red Nacional de Estaciones Terrenas, las estaciones para Radiocomunicación Marítima, la Red Nacional de Radiomonitorio y Mediciones y el Centro de Conmutación en la Torre Central de Telecomunicaciones, se tornara de manera escalonada en insuficiente. Como ejemplos de dichos problemas se puede citar que hasta 1985, en el campo telefónico, se contaba con aproximadamente siete millones de aparatos en toda la República lo que significaba que por cada cien habitantes se tenían 8.5 teléfonos; no obstante, esta distribución no era uniforme pues el servicio telefónico se había concentrado en los centros urbanos más

desarrollados y por lo mismo muchas comunidades rurales quedaron sin recibir este medio de comunicación. En ese mismo año, en lo referente a la televisión, y no obstante que se cubría gran parte del territorio nacional con redes de microondas, se calculaba que aproximadamente un 25% de la población no recibía este tipo de señales. Además, el sistema educativo a nivel telesecundaria sólo era recibido por una pequeña parte de la población rural ocasionando que el desarrollo social que incluye capacitación para el trabajo y la de apoyo para los servicios de salud era prácticamente inexistente.

Ahora, con nuestro sistema de Satélites Morelos, el panorama ha mejorado, pues el nivel de saturación que se había alcanzado ha quedado atrás. Con dicho sistema de comunicaciones por vía satélite los servicios de telefonía, televisión, TELEK, datos, telegrafía, facsimil y radiodifusión se proporciona prácticamente a toda la población.

1.2 SISTEMAS DOMESTICOS.

Debido a que este trabajo implica el uso de un satélite doméstico, se estima que es conveniente el hacer un breve comentario sobre éstos. Este tipo de sistemas ha tenido gran demanda en los últimos años y prueba de ello es que hasta países en vías de desarrollo han adquirido recientemente algunos de ellos.

Por otra parte, cabe hacer la aclaración de que existe una gran similitud entre los sistemas regionales y los domésticos. De los primeros se puede decir que se distinguen de los sistemas internacionales, tecnológicamente, solo por su tamaño y su capacidad. Por política, éstos proporcionan servicios entre algunos países, los cuales deberán estar localizados dentro de un área geográfica determinada, o bien, deberán tener el mismo lenguaje, un ejemplo típico es el caso del sistema Arabsat, el cual proporciona servicios a los países árabes.

Dentro de los sistemas regionales, el más importante en operación es el Eutelsat; éste proporciona, principalmente, comunicaciones telefónicas entre los países europeos.

Para hacer referencia a los sistemas de satélites domésticos se dirá que, por lo general, los principales o más grandes países del mundo ya cuentan, o están en proyecto, con un sistema de comunicaciones por satélite propio. En los Estados Unidos de Norteamérica sólo hay seis satélites domésticos principalmente para comunicaciones, y muchos otros que agrupan sociedades y otras organizaciones que son parte de esta nascente industria.

La Unión Soviética, la cual lanzó sus primeros satélites de comunicaciones en órbita de altitud media en abril de 1965, tiene un sistema llamado Molniya, el cual sirve para transmisiones de televisión y voz en su territorio. El sistema Anik es un sistema doméstico canadiense cuya cobertura incluye parte de los Estados Unidos de Norteamérica. El sistema Ekran, de la URSS, es un sistema para televisión. Japón y la India son dos países que ya cuentan con sistemas domésticos en operación. México desde 1985 es otro de los países que se han sumado a los que ya hacen uso de esta tecnología de vanguardia. (Heraldo, 66)

Como puede verse, la gran similitud que hay entre los sistemas regionales y los domésticos puede hacerse patente en cuanto a tecnología se refiere, lo demás sólo es cuestión de políticas manejadas por los organismos internacionales.

1.3 EL SATELITE PARA TRANSMISION DE DATOS.

En su forma más elemental, un enlace de comunicaciones punto a punto por satélite está formado por un transmisor y un receptor en ambos extremos del enlace, esto quiere decir que en un momento dado el punto transmisor se puede convertir en receptor y, en forma análoga, en el punto opuesto, el receptor se convertiría en transmisor, todo esto dependiendo del intercambio de información de que se trate. Para comprender esto un poco más se tratará por partes.

En primer lugar se debe considerar que la radio frecuencia del enlace establece comunicación entre dos puntos dados (transmisor y receptor) siendo el satélite un simple repetidor. Aquí, se observa que la capacidad del enlace del satélite se puede cuantificar en términos de la relación portadora a ruido (C/N). Esta relación nos representa la razón de la potencia de la portadora a la potencia de ruido, todo esto medido en un ancho de banda B; además, existe una relación directa con la capacidad de canales del satélite. En pocas palabras, el valor de la relación C/N depende de ciertos factores que tienen que ver con la potencia aprovechada y el ancho de banda.

el satélite proporcione un buen servicio al usuario, se debe hablar en términos de calidad. Dicha calidad debe definirse en parámetros tales como el aprovechamiento del enlace (grado de servicio), el rango de error de bit y la relación señal a ruido, lo anterior comparado con la relación portadora a ruido requerida $(C/N)_R$ en el enlace de radiofrecuencia. Posteriormente esta relación se debe comparar con la relación portadora a ruido aprovechable $(C/N)_A$ para determinar así la capacidad total de todo el enlace. Cabe aclarar que para medir la calidad requerida y los grados de servicios dentro del diseño de sistemas se deben considerar varios elementos del procesamiento de la señal de banda base fundamental.

Así se tiene que el primer nivel de procesamiento es la codificación y/o modulación de la señal fuente (voz, datos o video, etc.). Esta puede codificarse en forma digital o procesarse en forma analógica preparándose así para su transmisión. En la transmisión analógica se puede hacer uso de la modulación en amplitud (AM) y de la modulación en frecuencia (FM). Para la manera digital nos podemos valer de la modulación pulso-código (PCM) y la modulación delta.

El siguiente nivel de procesamiento es el multiplexaje. En la transmisión analógica tenemos multiplexaje por división de frecuencia (FDM), en la cual se emplean portadoras de

frecuencias distintas y cada una se asigna en un canal. En el caso de la transmisión digital, múltiples canales se combinan en señales digitales de niveles más altos haciendo uso del multiplexaje por división de tiempo (TDM), en el cual se emplean "ranuras" de tiempo separadas y cada una de ellas lleva la información de un canal. (Barral, 86).

Otro nivel de procesamiento es la codificación del canal el cual podría ser usado para mejorar la calidad de la transmisión digital mediante la redundancia y así reducir el rango de error.

El último nivel de procesamiento es el acceso múltiple, pues con el fin de aprovechar al máximo al satélite se diseñan sistemas que permiten que más de una estación terrena utilicen un transpondedor simultáneamente. Las técnicas de acceso más empleadas son la FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia), TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), CDMA (acceso múltiple por división de código) y la de DSSS (acceso múltiple por asignación de demanda). No hay que olvidar que existen otras técnicas de acceso pero las mencionadas son las que más aplicación tienen.

De lo anterior se desprende que un sistema de telecomunicaciones deberá estar formado por diferentes tipos

de configuraciones (en las redes) y de esta manera tener interconexiones entre todos los usuarios, o bien, entre varios de ellos. Las grandes redes que pueden ir desde un kilómetro hasta varios de éstos, por lo regular son los enlaces más costosos y de mayor aplicación, lo que hace que un sistema por satélite sea lo más conveniente en cuanto a su eficiencia.

Probablemente el área de mayor desarrollo en los próximos años es la de los servicios de comunicación de datos. Las sociedades financieras y las grandes corporaciones han buscado la manera de mejorar y distribuir sus negocios y con ello los servicios de transmisión de datos se han mejorado. Los accesos a la base de datos y las transferencias a través de los sistemas de procesamiento de datos ampliamente dispersos, los servicios de transmisiones por operaciones de ventas, los sistemas administrativos de inventarios, las redes bancarias, los accesos remotos a un computador, así como el correo electrónico son algunos ejemplos del desarrollo de nuevos servicios para la transmisión de datos.

CAPITULO 2

CARACTERISTICAS DEL SATELITE MORELOS

En este capítulo, se describen los principales parámetros que intervienen dentro de este trabajo y que están relacionados con el sistema de satélites Morelos.

2.1 ANTECEDENTES.

En 1981, después de hacer un estudio técnico y económico de las necesidades nacionales, se tomó la decisión por parte del gobierno, de adquirir un par de satélites para el servicio de transmisión de información a larga distancia.

La compañía que adquiere el contrato para la fabricación de los satélites es Hughes Communications International, de la misma manera, se eligió el transbordador espacial de la NASA para colocar en órbita a los satélites.

Por otro lado, se contrata a Cosat General Communications para asesoría en el diseño, implementación y control de los mismos.

El modelo que corresponde a los satélites Morelos es el HS376, el cual puede modificarse de su estructura general, dependiendo de las necesidades del usuario. El HS376 es de forma cilíndrica, con 2.28 mts. de diámetro y una altura de 2.86 mts. con su antena y paneles recogidos, una vez extendidos éstos dos elementos, su altura alcanza los 6.6 mts. su peso total es de 866 kg. de los cuales 145 kg. son de combustible. (SCT.85)

2.2 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.

El subsistema de comunicaciones consiste en una antena parabólica y un repetidor de 22 canales o transpondedores que operan en las bandas de 6/4 GHz (banda C) y 14/12 GHz (banda Ku), de estos 22 canales, 18 operan en la banda C, y a su vez 12 de ellos son de banda angosta, con un ancho de banda de 36 MHz y tubos de ondas progresivas (TWT) con amplificadores de 7 watts; los 6 transpondedores restantes de la banda C son de banda ancha, con 72 MHz y TWT's de 10.5 watts. (SCT.85)

Los otros 4 transpondedores, fueron asignados para la banda Ku, con un ancho de banda de 108 MHz cada uno y TWT's de 19.4 watts, cabe mencionar que éstos últimos lograron agregarse gracias a la optimización del diseño del repetidor de la banda C.

En la tabla 1 se observa en forma más detallada las características del subsistema de comunicación, tanto para la banda C como para la banda Ku.

Las señales en 6 GHz se reciben mediante la antena parabólica y se trasladan a 4 GHz para su envío por medio de

DESCRIPCION	CARACTERISTICA	
	BANDA C	BANDA K
NUMERO DE CANALES	12 BANDA ANGOSTA 6 BANDA ANCHA	4
ANCHO DE BANDA DE CANAL, MHZ	36 BANDA ANGOSTA 72 BANDA ANCHA	108
ESPACIAMIENTO ENTRE FRECUENCIAS CENTRALES DE LOS CANALES, MHZ	40 BANDA ANGOSTA 80 BANDA ANCHA	194
BANDAS DE FRECUENCIA, GHz		
RECEPTOR	5.925 A 6.425	14.0 A 14.5
TRANSMISOR	3.700 A 4.200	11.7 A 12.2
ANTENA		
RECEPTOR	180.34 CM DIAMETRO DEL REFLECTOR	ARREGLO PLANAR
TRANSMISOR	180.34 CM DIAMETRO DEL REFLECTOR	180.34 CM. DIAMETRO DEL REFLECTOR
RECEPTOR	TODO ESTADO SOLIDO	TODO ESTADO SOLIDO
CONTROL DE GANANCIA DE CANAL	0,3,6,9 dB COMANDABLE	0,3,6,9 dB COMANDABLE
FILTROS		
ENTRADA	COAXIAL, PSEUDO-ELIPTICO	GUIA DE ONDA PSEUDO-ELIPTICO
SALIDA	MODD DUAL, CUASI-ELIPTICO, GUIA DE ONDA.	MODD DUAL, CUASI-ELIPTICO, GUIA DE ONDA.

TABLA 1. CARACTERISTICAS DEL SUBSISTEMA DE COMUNICACION

3 de sus 4 receptores redundantes de banda ancha también por medio de la antena parabólica.

Para la banda Ku, la frecuencia a la cual son enviados los mensajes al satélite es de 14 GHz, misma que se recibe mediante un arreglo planar y transpuestas a 12 GHz para su envío a la Tierra en uno de los dos receptores redundantes apoyándose para ello en la antena parabólica del satélite.

En la figura 1 se especifica con mayor detalle el plan de polarización y las frecuencias para la banda Ku.

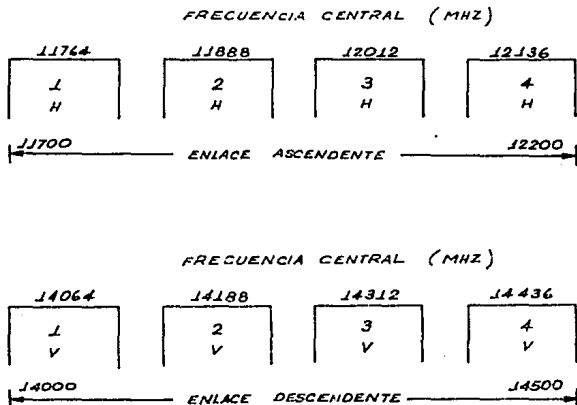


FIGURA 1. PLAN DE POLARIZACION Y FRECUENCIA DE LA BANDA KU.

2.3 EQUIPO REPETIDOR.

El diseño de receptores para las bandas C y Ku a base de circuitos integrados de estado sólido, utiliza un preamplificador de bajo nivel de ruido con transistor de efecto de campo cuya finalidad es obtener un bajo nivel en la temperatura de ruido del sistema, al ser los equipos de estado sólido, también se ayuda a disminuir el peso del sistema, así como su ensamble e integración.

La redundancia de TWT's en la banda C es de 14 por 12, divididos en dos grupos, para que por cada 6 TWT's exista uno de respaldo, esto para los canales de banda angosta, de la misma manera, para los transpondedores de banda ancha se hizo una división de dos grupos de 3 transpondedores con una redundancia de 4 a 3. Finalmente para la banda Ku se formó un solo grupo con una redundancia de 6 por 4. (SCT.85)

Todos los TWT's emplean cátodos de óxido y un diseño de colector triple que proporciona alta eficiencia y cumple con los requisitos de linealidad, sus fuentes de energía son reguladores disipadores en serie de bajo peso y tienen una alta eficiencia al final de su vida útil.

2.4 SUBSISTEMA DE ANTENAS.

El subsistema de antenas de comunicación de los satélites Morelos es un conjunto de varias antenas, las cuales crean seis diferentes haces de comunicación.

Todos los haces cuando se dibujan sobre perfiles de igual ganancia, aparecen como líneas alrededor de México, como se muestran en las figura 3, vistos desde una órbita geostacionaria, el corazón del subsistema es un doble reflector parabólico localizado en el extremo superior de la plataforma no giratoria de cada satélite, orientado nominalmente al centro de México.

El doble reflector con sus alimentadores crea cinco de los seis haces de comunicación, el sexto haz, es producido mediante el arreglo planar el cual está diseñado para operar en un espectro de frecuencias de 14 a 14.5 MHz.

El sistema de control y telemetría del satélite también recibe la información mediante el reflector parabólico.

El arreglo de los alimentadores consiste en 13 cornetas y sus redes de distribución de energía; estas cornetas son

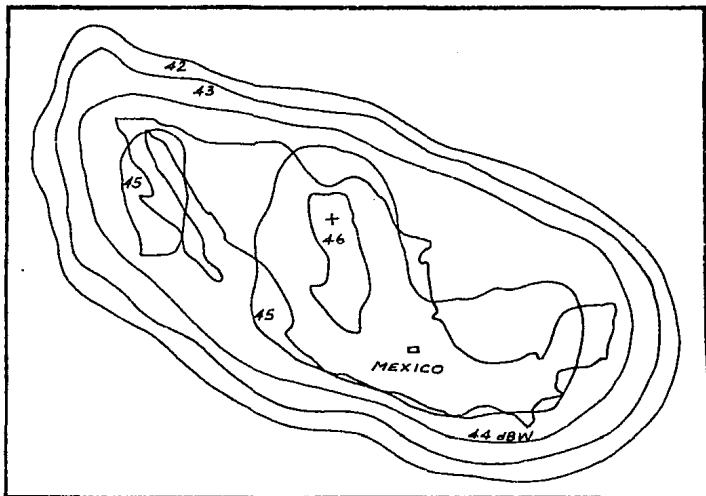


FIGURA 2. COBERTURA DE TRANSMISION DE LA BANDA KU

reutilizables a través de diplexores para ambas coberturas, esto para la polarización vertical, para la polarización horizontal se tienen ocho cornetas con sus respectivas redes de distribución, estas cornetas fueron optimizadas para cubrir todo el territorio mexicano en la amplitud del ancho de banda de las frecuencias utilizadas.

Como ya se mencionó el arreglo planar se utiliza para la recepción de señales de la banda Ku, consta de 32 elementos ranurados de 85 cm. cuadrados y está alojado frente al conjunto de cornetas y enclau del panel solar para evitar obstrucciones hacia el territorio nacional. (SCT.65)

Este arreglo está protegido térmicamente por un protector de germanio, mismo que es utilizado para la protección de los reflectores parabólicos de la serie HS376.

Como es comprensible, los satélites están sujetos a una determinada vida útil, ello se debe en primera instancia a que por ejemplo las celdas solares pierden su capacidad con el tiempo, así como por las pérdidas por arcos eléctricos y falsos contactos, pero lo que más restringe la vida de los satélites es el combustible ya que sería imposible reabastecerlo cuando éste se terminara, en promedio se ha calculado que el Morelos I tendrá una vida útil de

aproximadamente 9 años, mientras que el Morales II gracias al rediseño de la trayectoria de acopio a la órbita geostacionaria, se logró una disminución en el uso de combustible, lo cual a final de cuentas redundará en un tiempo extra de vida útil del satélite, esto ha llevado a calcular que el Morales II tendrá una vida útil de aproximadamente 13 años.

2.6 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

La introducción de los satélites al sistema integral de telecomunicaciones de México ofrece, una gran disponibilidad de canales de comunicación para la conducción de telefonía, transmisión de datos y televisión, que son utilizados por los distintos sectores del país para beneficio de la sociedad.

El satélite es un sistema de comunicación complejo, que a su vez está compuesto por un conjunto de subsistemas con funciones específicas y parámetros propios.

De manera de hacer resaltar en forma esquemática los parámetros más importantes para este trabajo en cuestión se muestra en la tabla 2, las características del subsistema de comunicaciones del satélite Morelos I.

Los parámetros básicos que se mencionan son tales como la relación ganancia a temperatura de ruido (G/T), para el enlace de ascenso y potencia efectiva radiada isotrópicamente (EIRP), para el enlace de descenso.

PARAMETRO	BANDA C BANDA ANGOSTA	BANDA C BANDA ANCHA	BANDA KU
<i>G/T</i>			
CANANCI MINIMA DE ANTENA A LA RECEPCION , dB	31.3	29.4	30.5
TEMPERATURA DE RUIDO RE CIBIDA EN LA ANTENA , °K	290.0	290.0	290.0
FIGURA DE RUIDO DEL RE PETIDOR , dB	27.6	27.6	27.8
<i>G/T</i> , dB/°K	3.7	0.6	1.0
<i>PIRE</i>			
SALIDA TOP , dBW	8.7	10.4	12.9
PERDIDA DE SALIDA , dB	1.2	1.1	0.8
GANANCI MINIMA DE ANTENA A LA TRANSMISION , dB	28.5	29.7	32.2
<i>PIRE</i> , dBW	36.0	39.0	44.3

TABLA 2. DESEMPEÑO DE COMUNICACION TIPICO DEL SATELITE MORELOS I

CAPITULO 3

REQUERIMIENTOS DE ENLACE.

En este capítulo se tratarán los aspectos prácticos de un enlace real que utiliza un sistema de comunicaciones por vía satélite. Este enlace está formado, entre otros elementos, por una red de teleproceso la cual maneja datos, así como un sistema de cómputo y alguna técnica de corrección de errores y otros aspectos importantes explicados a continuación.

3.1 ASPECTOS GENERALES DE UNA RED DE TELEPROCESO.

El teleproceso actualmente se utiliza para indicar el uso remoto de un computador a través de una red de comunicaciones de datos. Este apareció a partir de la tercera generación de computadoras (1970); y gracias a él los usuarios del computador pueden encontrarse en una fábrica, un supermercado, en la oficina de reservaciones de una línea aérea, etc., y no obstante la distancia a la unidad central de teleprocesamiento, considerar que tienen cada uno su propio computador.

Una red de teleproceso se compone de:

- Un sistema central de cómputo.
- Programas.
- Terminales.
- Equipo y canales de comunicación.

El sistema central de cómputo está constituido por la unidad central de procesamiento (CPU), los canales, las unidades de control, los diferentes dispositivos de Entrada y Salida, así como los archivos de la instalación. Este sistema

puede proporcionar servicios tales como procesamiento de datos, conmutación de mensajes, consulta o actualización de archivos, captura de datos, etc.

Los programas contienen las órdenes necesarias para la realización de los servicios anteriores, pueden ser elaborados por el usuario (programas de aplicaciones) o por el fabricante del equipo de cómputo (por ejemplo el sistema operativo).

Los terminales son los dispositivos que le permiten al usuario la introducción de los datos hacia el computador y la recepción de las respuestas de éste. Una terminal de teleproceso puede consistir de uno o más dispositivos de entrada y salida, los dispositivos de entrada pueden ser una lectora de tarjetas, una lectora de cinta magnética, un teclado de una pantalla, etc., a su vez, los dispositivos de salida pueden ser una pantalla, una perforadora de tarjetas, una impresora, etc.

En la actualidad, los canales de comunicación más utilizados para el teleproceso son telefónicos, es decir, los mismos canales utilizados para la transmisión de la voz humana.

Debido a la naturaleza eléctrica de las señales de datos utilizadas por las terminales y el computador, éstas no pueden transmitirse directamente sobre el canal, las señales enviadas por la terminal, previamente a su transmisión, se convierten en otras señales con características semejantes a las de aquéllas producidas por la voz humana para que el canal telefónico pueda transportarlas hasta el otro extremo, donde son nuevamente entregadas al canal de comunicación. El proceso de transmisión es semejante cuando el computador es el que envía la información a las terminales. A los equipos que realizan esta conversión de señales se les conoce como MODEM'S palabra que se deriva de la contracción de Modulador-Demodulador.

Los tres primeros elementos de la red pertenecen al campo de la informática y en la mayoría de las veces, son proporcionados por el fabricante del equipo de cómputo, en cambio los equipos y conales utilizados para las transmisiones caen dentro del dominio de la Ingeniería en comunicaciones, en éste caso particular los conales serán proporcionados por BCT o TELNEX y, en la mayoría de los casos, los MODEM'S son comprados por el propio usuario.

3.2 CLASIFICACION DEL SISTEMA DE COMPUTO.

Básicamente un computador puede realizar tres tipos de procesamiento:

- Convencional o local en lote.
- En tiempo real.
- Orientado a terminales o teleproceso.

En el procesamiento orientado a terminales o teleproceso, los usuarios pueden ser los mismos que en el caso de procesamiento local en lote, sin embargo, en lugar de transportar físicamente sus datos y resultados hasta o desde el computador, el usuario utiliza una terminal para su envío y recepción.

Mediante el teleproceso los usuarios pueden estar a unos cuantos metros o a varios kilómetros del computador y, sin embargo, considerar que tiene su propio computador al lado.

En general, un mismo computador puede realizar , simultáneamente tanto funciones de procesamiento local como de teleproceso, sin embargo, en el procesamiento en tiempo real el computador se dedica casi exclusivamente a atender el proceso bajo su control.

3.3 CATEGORIAS FUNCIONALES.

A grandes rasgos, las aplicaciones o usos de un sistema de teleproceso se pueden clasificar en:

- Conmutación de mensajes (Message switching).
- Captura de datos (data collection).
- Pregunta/respuesta (enquire/response).
- Procesamiento remoto (remote processing).

La conmutación de mensajes consiste en enviar un texto (mensaje) desde una terminal hasta una o más terminales conectadas a la misma red de teleproceso, es ampliamente utilizada para la comunicación interna de una compañía, un banco, una corporación, etc. (d/A-Com,85)

En captura de datos la información sobre las operaciones del día se envía por las terminales y se almacena (captura) por el computador para que posteriormente sea procesada.

En los sistemas de pregunta/respuesta, una transacción consiste de una solicitud de información por parte del usuario (pregunta), una búsqueda del computador en sus archivos y una respuesta, casi inmediata, a dicha solicitud.

La transacción puede consistir simplemente de una pregunta al computador sobre el estado de los archivos o de una pregunta con actualización de éstos.

Estos sistemas tienen como característica sobresaliente la necesidad de grandes volúmenes de información que pueden ser accedidos inmediatamente por el computador. Para satisfacer este requisito, estos volúmenes se almacenan generalmente en discos, y constituyen las llamadas Bases de Datos de la instalación.

Una base de datos se define como una colección ordenada de datos, no redundante, alimentada desde múltiples fuentes y mantenida en secuencia lógica; deberá elaborarse de tal manera que cualquier número de usuarios y de programas de aplicación puedan recuperar, procesar y actualizar, de una manera sencilla, la información que contiene.

Las aplicaciones bancarias a cheques, cuentas de ahorro, tarjetas de crédito, etc. constituyen un ejemplo típico de estos sistemas.

3.4 TERMINOLOGIA EN TELEPROCESO.

Dentro de terminología empleada por la Ingeniería de comunicaciones para los diferentes elementos que intervienen en una red de teleproceso, lo más sobresaliente de éste es que para referirse tanto a las terminales como al computador se emplea el término de equipo terminal de datos. El término "enlace de datos" (data link) se refiere al enlace entre la terminal y el computador antes de los MODEM'S, es decir, en los puntos en que se tienen las señales de datos directamente manejadas por éstos.

A continuación se resumen los términos más utilizados en teleproceso:

-Modos de transmisión.- De acuerdo a la manera en que se lleva a cabo el intercambio de información terminal-computador, éste se clasifica en:

- .Simplex
- .Duplex
- .Semiduplex

- Enlaces telefónicos.- El canal telefónico que comunica al MDEE de la terminal con el computador se clasifica de acuerdo al número de alambres o hilos que lo componen: de 2 o 4 hilos.

- Configuraciones.- Las configuraciones se clasifican de acuerdo al número de terminales que se conectan en cada salida del controlador de comunicaciones.

3.6 CODIGOS DE TRANSMISION.

Los códigos más ampliamente utilizados para las transmisiones con terminales son el BAUDOT, el TRANSCODE, el ABCII y el EBCDIC, el primero es empleado básicamente para transmisiones de terminal a terminal en aplicaciones tales como telegrafía y TELEEX, los restantes se utilizan para las transmisiones entre terminales y computador o entre computadores. Al número de bits utilizados por el código para representar la información se le conoce como el nivel del código. (N.P-Cor.86)

3.6 TRANSMISIONES SINCRONAS Y ASINCRONAS.

Básicamente existen dos formas para transmitir seriamente un carácter: asíncrona y síncrona.

En las transmisiones asíncronas se utilizan sólo dos códigos: BAUDOT y ASCII, el inicio de cada carácter se marca con el bit de arranque, a continuación se transmiten los bits de información (5 en BAUDOT y 7 en ASCII), un bit de paridad (sólo en caso de usar ASCII) y por último un bit de parada. (Bhargava, 86)

Mediante el uso de bits de arranque y parada se marca la duración de cada bit como de cada carácter; en el caso de código BAUDOT el bit de parada tiene una duración de 1.43 veces la de un bit de información y en el caso de ASCII esta duración puede ser de una o dos veces.

En las transmisiones síncronas, además de las señales de datos, los MODEM'S proporcionan una señal de reloj (señal de sincronía) que indica la duración de cada bit (el acceso de esta señal marca el final del bit anterior y el inicio del nuevo y el descenso señala la parte media de uno); estas

transmisiones son más eficientes que las asíncronas pues, por un lado, no requiere de bits adicionales de arranque y parada y, por otro, permiten mayores velocidades de transmisión sobre los canales telefónicos.

3.7 FUNDAMENTOS DE CORRECCION DE ERRORES.

Cuando se habla de transmisión de datos, es decir, de comunicaciones entre equipo de cómputo, la propagación de errores es un punto al que se le debe dar especial atención. Por ejemplo si se va a manejar información de una institución bancaria o de tipo financiero, entonces lo más conveniente es utilizar alguna de las técnicas de corrección de error.

El control de errores en la codificación puede llevarse a cabo por FEC (corrección de errores antes de su aparición) o por ARQ (requerimiento de repetición automática) o bien, por una combinación de ambos. (Bhargava, 86)

En un sistema de comunicaciones en el que se usa FEC, la fuente de datos proporciona mensajes que se transmitirán hasta el usuario por medio de un canal por demás ruidoso. Para ello se asigna una señal a cada uno de los "n" mensajes que se pueden transmitir por el sistema. La regla de selección que asigna una señal a cada mensaje transmitido es lo que llamamos código. Cabe aclarar que, debido al ruido en el canal, la señal transmitida no llega al receptor exactamente en la forma como fue enviada.

El teorema de codificación de Shannon indica la existencia de códigos que permiten llevar a cabo la comunicación únicamente si el rango de información transmitida es menor que la máxima capacidad del canal (C). Este concepto es de suma importancia en la teoría de las comunicaciones. Sin embargo, debemos considerar la existencia de factores que hacen posible la idealización de un canal, especialmente en un satélite, éstos son:

i) El ruido blanco gaussiano que se suma al ancho de banda.

ii) El retardo en la transmisión (350 ms aproximadamente) para satélites geostacionarios.

Por otra parte, algunos satélites tienen restringidos alguno de sus parámetros; esto es, la potencia puede estar más limitada que el ancho de banda. De encontrarnos en una situación como ésta, es conveniente que el diseño de los enlaces contemplen la optimización de algunos de éstos.

Considerando un canal susceptible al ruido gaussiano con ancho de banda nominal de B Hz y además una señal con potencia P así como una densidad espectral de ruido N_0

tenemos que la capacidad está dada por:

$$C = B \log_2 (1 + P/N_0B)$$

De esta ecuación puede verse que la capacidad del canal puede variar al hacer cambios en los valores de B y de la relación señal a ruido. Así tendríamos que, para un ancho de banda infinito, el valor de la capacidad tendería al infinito por lo que ésta quedaría sujeta a la relación señal a ruido. Bajo la no limitante del ancho de banda, el mínimo valor de E_b/N_0 ($E_{b,lim}/N_0$) se conoce como el límite de Shannon, el cual se aproxima al valor de $\ln 2 = 0.693$ (-1.6 dB). Obviamente, debido a que la potencia es limitada en el satélite, se pretende que los sistemas de comunicación operen con una relación E_b/N_0 al valor de -1.6 dB.

La facilidad de cambio en los parámetros de la expresión anterior es muy atractiva especialmente cuando se trata de satélites de comunicación en los cuales la potencia disponible es muy limitada sin que se tenga restricción rigurosa en el ancho de banda.

Dependiendo del tipo de modulación utilizada y del rango de error, el valor de E_b/N_0 se acercará o se alejará al límite en cuestión.

De la figura 3 se puede observar que es necesario tener una relación E_b/N_0 igual a 9.6 dB para obtener una tasa de error de 10^{-6} cuando se utiliza modulación PSK. Debido a que $E_{b,ideal}/N_0$ es de -1.6 dB, entonces teóricamente puede lograrse una ganancia potencial de 11.2 dB para este rango de error de bit. Por lo mismo, se puede decir que todos los sistemas que operan con un rango cuya curva se localiza entre la modulación PSK ideal y el límite de Shannon puede tener una ganancia de codificación. Esta ganancia toma un papel muy importante dentro de las comunicaciones por vía satélite ya que trae consigo algunas mejoras en el enlace tales como la reducción en la potencia de transmisión, o en el tamaño de la antena, o bien un incremento en el rango de bits de datos por el mismo rango de errores.

Los controladores de errores son un punto que no queremos dejar de mencionar y, dada su importancia dentro de la transmisión de datos, es bueno considerarlos en el cálculo del enlace.

En otras palabras podemos decir que, en la práctica, el utilizar un controlador de errores, como puede ser el FEC, disminuye la tasa de error de bit y esto puede traer como consecuencia un decremento en la potencia de transmisión y,

como resultado, pueden disminuir los costos del enlace. Ahora bien, esto puede aplicarse dentro del contexto de los satélites nacionales, ya que dentro de la banda KU la potencia sí está limitada, no así el ancho de banda.

Lo anterior no quiere decir que quedan prohibidos los enlaces en esta banda con "grandes" requerimientos de potencia, pero sí es bueno considerar las tarifas impuestas por el Sector de Comunicaciones y Transportes en cuanto al uso de la potencia del satélite. No hay que olvidar que aquí entra en juego la ingeniería para optimizar el sistema de comunicaciones.

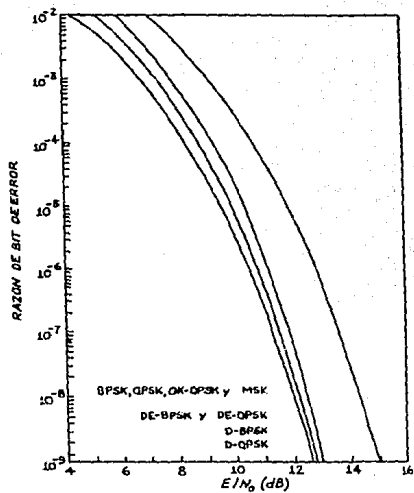


FIGURA 3 CURVAS CARACTERISTICAS IDEALES DE LA RAZON DE BIT DE ERROR DE VARIOS ESQUEMAS DE MODULACION DIGITAL.

3.8 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

Hasta el momento sólo se ha descrito cómo es y cuáles son las características del intercambio de las señales de datos cuando éste se lleva a cabo por líneas telefónicas.

Aquí podría cuestionarse si existe alguna relación entre este tipo de comunicación y la que se lleva a cabo por vía satélite; pues bien, dentro de las limitantes de los canales, la distancia juega un papel muy importante y, dependiendo de la configuración y de la separación entre los puntos transmisores y receptores del enlace, se deberá llevar a cabo un estudio para así poder determinar el sistema o sistemas que más convenga.

Por ejemplo en un caso en el que varias terminales, distribuidas por una gran zona geográfica (todo un país), necesitan tener acceso a un computador. Imagínese lo difícil y lo inconveniente que resultaría el utilizar líneas telefónicas y/o canales de microondas; además, se debe tomar en cuenta que la infraestructura del sistema nacional de microondas ya es insuficiente. Por otra parte, no es recomendable, en cuanto a costo que cada uno de los usuarios

tenga su propia estación terrena.

Por lo mismo, se puede concluir que, la red de servicios terrestres instalados debe ser compatible con el sistema de comunicación por satélite. Con ello se asigna el acceso al sistema de comunicación vía satélite tanto para grandes empresas como para pequeños usuarios con gran facilidad.

CAPITULO 4

SISTEMAS DE ACCESO MULTIPLE.

Los sistemas de comunicación transmiten la información, ya sea; voz, música, video, datos científicos, de negocios u otros, en forma de señales eléctricas, éstas formas son de carácter complicado y comúnmente variados, el espectro de frecuencias de estas señales queda limitado por lo general a cierto ancho de banda, ya sea por la naturaleza de la fuente de la señal o por los filtros en el equipo de transmisión. Como muchas de estas señales ocupan una banda de frecuencias que se extiende hacia abajo hasta unos pocos Hz, no se pueden transmitir en su forma original sobre una trayectoria en común de transmisión, pues no sería posible separarlas en el extremo receptor.

Por consiguiente, un sistema global de comunicaciones debe proporcionar un medio para la transmisión de señales, ya sea ubicandolas en diferentes partes del espectro de frecuencias o bien enviando muestras de ellas con base en tiempo compartido.

Este capítulo se dedica precisamente al análisis de estos tipos de enlace y a la selección del sistema más adecuado para nuestro propósito.

4.1 GENERALIDADES.

El acceso múltiple es una técnica usada en comunicaciones por satélite, donde más de dos estaciones terrenas pueden simultáneamente usar un transpondedor del satélite.

En forma general el transpondedor es el equipo, en el satélite que recibe la señal, la amplifica y cambia su frecuencia para después retransmitirla.

Un transpondedor puede tener acceso por una o múltiples portadoras, que a su vez pueden ser moduladas por uno o varios canales de banda base, donde puede, a su vez, incluir señales de comunicación por ejemplo; datos, voz y video (ver figura 4).

En muchas aplicaciones de comunicaciones por satélite, intervienen un número "n" de estaciones terrenas, comunicadas entre sí por medio de un canal del satélite, nótese que la palabra "canal" se usa en el campo de comunicación vía satélite para describir tanto una banda base de voz, de datos o de video como un canal de A.F. proporcionados por un transpondedor.

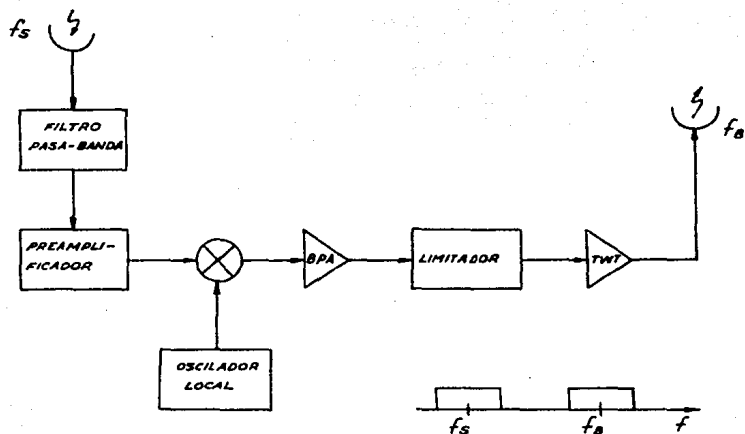


FIGURA 4 DIAGRAMA A BLOQUES SIMPLIFICADO MOSTRANDO UN CANAL TRANSPONDEDOR.

El concepto de acceso múltiple involucra varios sistemas que lo hacen posible para múltiples estaciones terrenas que deseen interconectar sus comunicaciones.

Aunque existan muchas técnicas de acceso múltiple, fundamentalmente son cuatro las técnicas más usadas:

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).
- Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).
- Acceso múltiple por división de código (CDMA).
- Acceso múltiple por asignación de demanda (DAMA). (Nesrel,86)

Estas técnicas además involucran diferentes métodos de transmisiones que se explica en los temas siguientes.

4.2 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA (FDMA).

El FDMA es el tipo de acceso más simple en donde cada portadora se transmite a diferentes frecuencias, esto es, que a cada señal se le asigna un canal de frecuencias separado y no traslapado. Los productos de intermodulación producidos por la no linealidad del amplificador de potencia, son minimizados seleccionando las frecuencias apropiadas o reduciendo el nivel de potencia de entrada.

En un mismo transpondedor se usan múltiples portadoras, donde el ancho de banda de cada portadora puede ser tan pequeño como el requerido por un solo canal de voz.

4.2.1 Canales múltiples por portadora (MCPC).

Este método se deriva de sistemas de multiplexaje por división de frecuencia terrestre, el MCPC puede manejar tanto transmisiones analógicas y/o digitales, las cuales se tratarán a continuación.

a) Transmisión MCPC analógica.

Esta técnica de acceso múltiple, fue la primera empleada en comunicaciones por satélite, y se diseñó para transmisión analógica. En la figura 5 se muestra una implementación típica de este sistema.

Los canales de banda de voz individuales son primero modulados en banda lateral única (SSB) de división de frecuencia, multiplexando las portadoras para formar una banda base de FDM.

Los canales de banda de voz de un sistema telefónico terrestre se conectan al satélite con un multiplexaje FDM.

En cada estación, la banda base de FDM es un conjunto de frecuencias moduladas en portadoras preasignadas y transmitidas a través del satélite en una porción preasignada del ancho de banda del transpondedor, las estaciones receptoras demodulan cada portadora recibida, usando equipo FDM multiplex. (Schwartz,83)

Este método por muchos años proporcionó excelentes servicios de calidad de voz pero tiene la desventaja de ser inflexible en adaptaciones de la demanda de tráfico, y también debido al alto requerimiento de HARDWARE por canal y

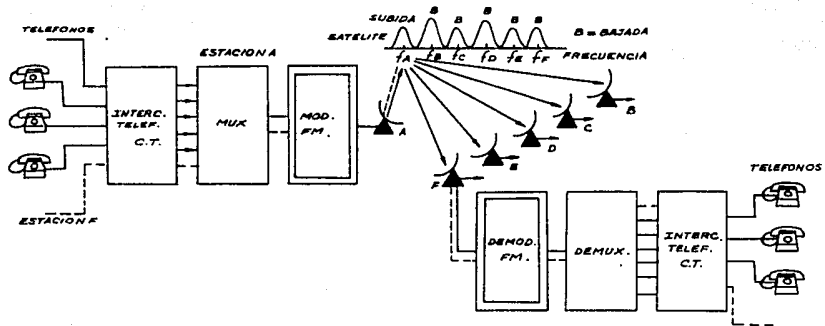


FIGURA 5 MULTIDESTINO PREASIGNADO SSB / FDM / FDMA

como emplea portadoras múltiples está sujeto al efecto de la no linealidad del transpondedor.

b) Transmisión DCPC digital.

Este método se usa para la transmisión de señales banda base codificadas digitalmente, la información banda base por cada portadora, típicamente se constituye de un multicanal PCM-TDM.

Estas señales multiplexadas son moduladas en portadoras digitales y por lo general se emplean cuatro fases junto con PSK. Tales sistemas son de interés particular ya que éstos son compatibles con una portadora de FDM/FDMR distribuidos en el mismo transponder.

Los requerimientos de operación son similares a los que se usan en la transmisión FDM/FM analógica.

El uso de un multiplexaje digital por división de tiempo banda base permite usar el potencial de palabra digital procediendo a suministrar un acrecentamiento significativo de la capacidad de los canales de voz por una ventaja atractiva del silencio en intervalos de palabra multicanal telefónica usando técnicas de interpolación de palabra.

La codificación en banda base digital de canales individuales pueden usar una de las técnicas diversas. Aunque la técnica predominante en uso es PCM, para el cual existen estándares internacionales.

4.2.2 Canal único por portadora (SCPC).

En lugares donde las estaciones de tierra con pequeña capacidad desean comunicarse por vía de una comunicación global, la utilización de SCPC/FDM/FM/FDMA no es costeable en términos de costos y eficiencia del espectro. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas en el cual un canal telefónico se distribuye sobre una portadora de radiofrecuencia y se modula dentro de la portadora por FDM o por llaveo de corriente de fase (PSK). (Maral,86)

EL SCPC puede usar ambas transmisiones analógica y digital.

a) SCPC para un enlace vía satélite.

Para poder utilizar más eficientemente el ancho de banda que se utiliza dentro de un transpondedor, se necesita ubicar

adecuadamente las señales que se enviarán para que el mismo pueda ser utilizado a su mayor capacidad.

Dentro de las formas en que puede dividirse el uso de un ancho de banda, existen dos grandes sistemas: FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia) y TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), los cuales como su nombre lo indica uno divide el ancho de banda en una gama de tiempos, mientras el otro en frecuencias.

Cuando se utiliza FDMA lo que se hace es dividir el ancho de banda del transpondedor en un número de anchos de banda preestablecidos y fijos, dependiendo de las necesidades del usuario, los cuales obviamente son más pequeñas.

Una vez asignadas las frecuencias a las cuales subirán cada uno de los mensajes, éstos son enviados en "paquetes" al satélite, el cual los reflejará agrupados en la misma forma para ser captados en las estaciones terrenas, sin que unos interfieran sobre otros, como se muestra en la figura 8.

A su vez, el FDMA se subdivide en dos grupos MCPC (canales múltiples por portadora) y SCPC (canal único por portadora) de los cuales el primero envía toda la información del transponder utilizando solamente una portadora la que

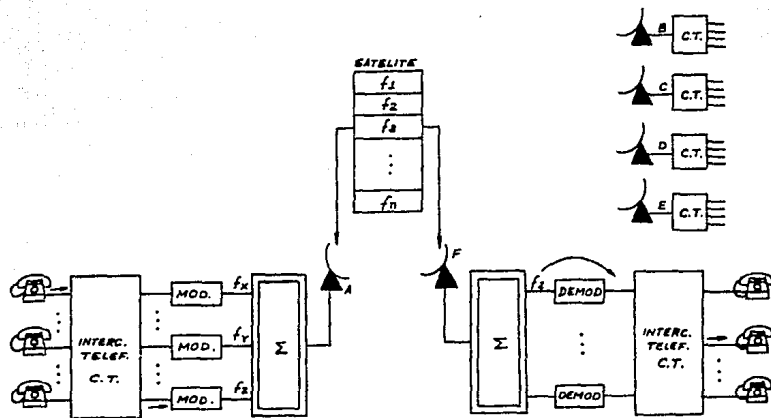


FIGURA 6 FLUJO DE LA SEÑAL EN UN SISTEMA SCPC

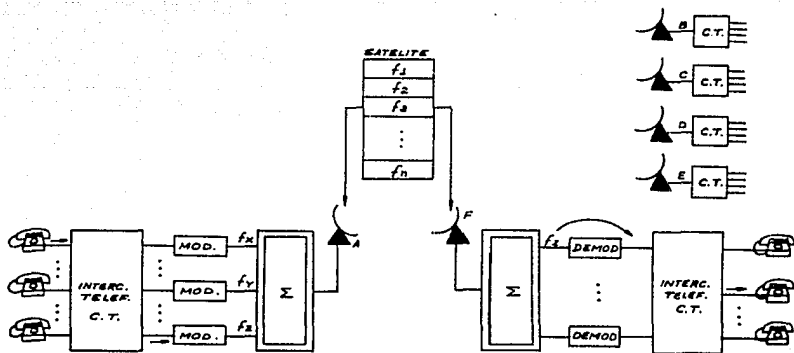


FIGURA 6 FLUJO DE LA SEÑAL EN UN SISTEMA SCPC

envuelve completamente a la banda base y en esa forma enviada al satélite.

Por otro lado, si se utiliza SCPC, para cada mensaje que se envía se le asigna una portadora para ser enviado al satélite.

b) SCPC digital

Para poder utilizar este sistema de enlace (FDMA), se necesita utilizar un canal por cada mensaje de voz o de datos.

En él, el sistema terrestre se conecta con equipo SCPC en una base de canal por canal.

Para poder enviar una señal de voz en forma digitalizada, recordamos que se requiere hacer uso de un sistema digitalizador de voz, por ejemplo; PCM de 64 kbit/segundo, o RPCM de 32 kbit/segundo. Una vez digitalizada, podemos decir que es un mensaje similar a un grupo de datos, por lo que se pueden considerar similares; es por ello que de desear enviar una señal digitalizada, utilizando SCPC al satélite, es necesaria una modulación de RF PSK.

Para establecer una conversación entre dos localidades, son necesarios dos canales para comunicarlos (un canal para cada sentido de transmisión).

Resumiendo el sistema FDMA/SCPC/PSK funciona de tal manera que a un conjunto de usuarios que desean transmitir mensajes mediante un satélite, a cada mensaje se le asigna un ancho de banda determinado y éste será para uso exclusivo del mismo y posteriormente será transportado a la frecuencia de trabajo por medio de una portadora que también será única para cada canal, modulándose dependiendo del tipo de señal que tengamos, PSK o FB para señales digitalizadas o analógicas respectivamente. Una vez hecho lo anterior, la información está preparada para ser enviada al satélite, pasando previamente por una etapa de amplificación de potencia.

4.3 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO (TDMA).

El sistema típico por acceso múltiple por división de tiempo es el TDMA cuya implementación emplea una portadora única modulada ocupando todo el ancho de banda, este tipo de sistema es el mas común para redes de TDMA y es también el mas eficiente dada una capacidad preestablecida, la representación gráfica de este tipo de acceso se muestra en la figura 7.

4.3.1) ADC/TDM/PSK/TDMA.

El concepto básico del TDMA se ilustra a continuación; varias estaciones en el enlace usan una portadora de frecuencia única cuyo ancho de banda ocupa toda la capacidad del transpondedor.

Esta portadora es compartida en el tiempo para permitir que cada estación pueda transmitir su información con modulación digital usando paquetes sincronizados; esto es, una estación recibirá información desde una fuente continua, comprimida dentro de un corto intervalo de tiempo y

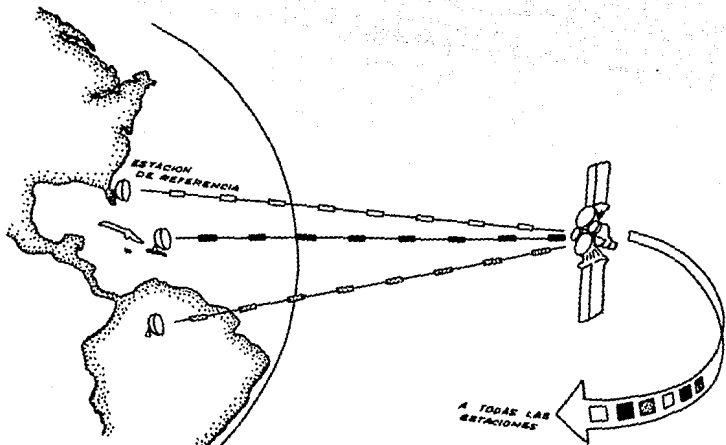


FIGURA 7 CONCEPTO BASICO DEL TDMA

transmitida dentro de un paquete de alta velocidad en el tiempo correcto para que así, los paquetes de todas las estaciones arriben hacia el satélite en intervalos secuenciales sin que exista interferencia entre ellas. Todos los pulsos de cada paquete recibidos desde todas las estaciones son después retransmitidos desde el satélite a todas las estaciones. La sincronización se consigue al definir una estación de referencia en donde la información de tiempo y posición del paquete se usa como una referencia para todas las otras estaciones en el enlace y así sincronizar sus transmisiones. Ver figura 8.

Para controlar adecuadamente el entrelazado de paquetes desde múltiples estaciones, un sistema TDMA usa una organización de marco. Un ejemplo de esta estructura de marco se muestra en la figura 9. (Gara1,86)

Cada paquete consta de información de comando y de información de tráfico. Los datos de comando se usan para la implementación y control del sistema, y los datos de tráfico son la parte útil o regenerativa del paquete. La porción de comando del paquete comienza y se encuentra referida con el prefábullo o prólogo.

Como se muestra en la figura 9, un prólogo comienza con

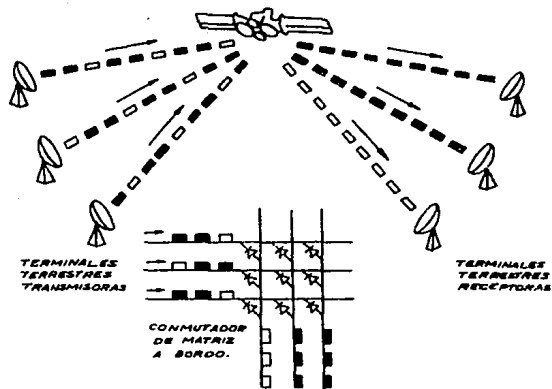
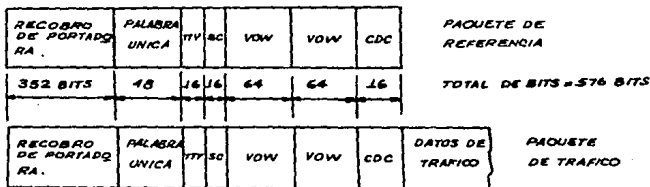
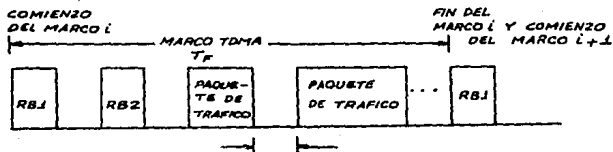


FIGURA 8 TDMA DE SATELITE CONMUTADO



TTY : TELETIPO
 SC : CANAL DE SERVICIO
 VOW : LINEA DE ORDEN DE VOZ
 CDC : CANAL DE CONTROL Y RETARDO

FIGURA 9 MARCO DE TDMA Y ESTRUCTURA DE PAQUETE

la transmisión de un predeterminado patrón digital usado por el demodulador PSK de alta velocidad para recuperar la portadora y adquirir la sincronización de cada paquete.

La siguiente porción del prólogo es una palabra única de 48 bits. Tan pronto como el sistema reconoce esta palabra única, cada sistema inicializa sus contadores para reconocer su posición en este marco; los siguientes elementos contienen información de servicio, incluyendo un canal para teleimpresora, un canal para control del sistema y un canal de servicio para realizar un análisis de ejecución de error cuando el sistema esté en servicio. Se incluyen además canales para enlace digital de voz, para control de información, etc.

Después del prólogo, existen los datos del tráfico que contienen información de voz, datos y quizá información de video.

4.3.2) TDMA de banda angosta.

Las señales TDMA son algunas veces transmitidas dentro de una sub-banda del ancho de banda del transponder.

Como se indica en la figura 10, un transpondedor sencillo puede ser empleado para proveer múltiples servicios (por ejemplo: video, SCPC y TDRA) en una configuración FDRA.

Por supuesto, esta aplicación del TDRA no conjuga la usual ventaja de la portadora única de no intermodulación, por ésto puede compartir recursos con otros sistemas de múltiple acceso. Una ventaja de esta propuesta se encuentra en aplicaciones que no requieren de los recursos completos de un transpondedor.

Usando este TDRA únicamente de banda angosta los requerimientos de sistemas pequeños, así como aquellos empleados para incorporar comunicaciones de servicios regionales pueden ser satisfechos.

Esta aplicación todavía disfruta de la flexibilidad y de la interconectividad proporcionada por TDRA, así como su excelente utilidad para transmisión.

Las velocidades de transmisión de este tipo de sistema oscila entre un rango que va desde 1.544 Mbit/seg. hasta 8.312 Mbit/seg. contrastando con el sistema TDRA de transponder completo el cual opera a 60.0 Mbit/seg (en un transpondedor de 36 MHz) o 120.0 Mbit/seg. en uno de 72 MHz. (Ref:1,86)

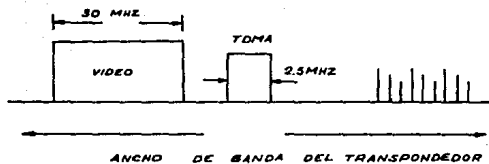


FIGURA 10 TDMA DE BANDA ESTRECHA EN UNA ORGANIZACION DE MULTISERVICIO DE TRANSPONDEDOR .

4.4 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGO (CDMA).

En la operación del sistema CDMA varias estaciones usan la misma frecuencia de portadora y el ancho de banda asociado al mismo tiempo.

Su aplicación está esencialmente limitada a transmisiones digitales. En el CDMA cada bit del mensaje digital es transmitido en una secuencia de bits. Esto ocurre porque el mensaje original es convertido mediante un predeterminado código de secuencia. Así, el ancho de banda requerido para la transmisión es más grande que el que sería utilizado para la transmisión directa del mensaje.

Sin embargo, mediante el conocimiento de la secuencia de codificación, el receptor es capaz de reconstruir el mensaje bajo una adversa relación señal a ruido. Si varias estaciones transmiten en esta forma, usando diferentes secuencias de código, entonces, para cualquier receptor todas las señales aparecerán tan sólo como componentes de ruido dentro del límite tolerable del ruido en el enlace. En la figura 1) se muestra el principio de multiplexaje por división de código.

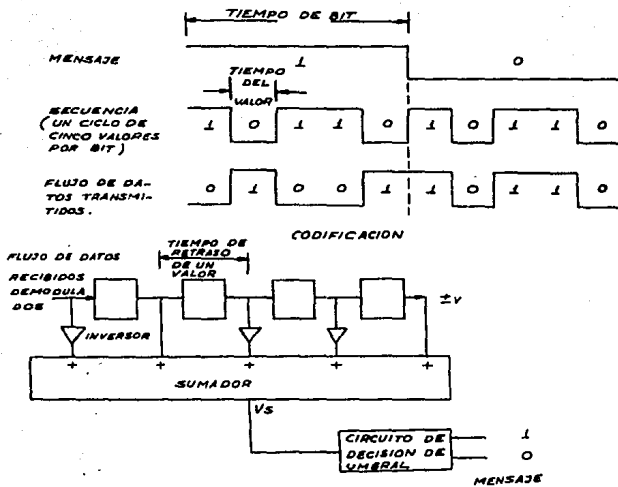


FIGURA 11. PRINCIPIO DEL MULTIPLEXAJE POR DIVISION DE CODIGO .

4.6 ACCESO MULTIPLE POR ASIGNACION DE DEMANDA (DAMA).

El uso de sistemas de satélite que manejan transmisiones a larga distancia, trae como consecuencia que la demanda de acceso en diferentes lugares de comunicación no sea uniforme.

Además tiene la ventaja de ser útil en localidades de acceso aleatorio o demanda flexible, por ejemplo, a un pequeño punto se le pre-asigna un número de canales requerido en cualquier día por destinatario y que para cada destinatario no será coincidente, y esto redundo en que el costo del uso en cualquier tiempo será menor que el requerido en otros sistemas de acceso.

4.6 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

De las formas de acceso descritas anteriormente, se seleccionó en el presente trabajo al FDMA por las siguientes razones:

En México este sistema es el más empleado para realizar el enlace vía satélite y dado que este trabajo tiene como finalidad su utilización en la República Mexicana, se necesita adaptar a las normas que aquí rigen y así, el sistema pueda ser compatible con los usuarios potenciales del mismo.

Este sistema es, en relación con los otros, el más económico debido a que no requiere de otros elementos como son: sincronizadores, decodificadores, etc..., los cuales lo carecen.

Al tener pocas grandes ventajas sobre los otros sistemas, se observó la factibilidad del FDMA y de sus variaciones: MCPC y SCPC. Se seleccionó esta última debido a que nos interesa realizar el enlace usando un solo canal por portadora para la transmisión de la información con bajo

crítico, por ejemplo el de una empresa particular y no por MCPC ya que ésta, generalmente se emplea para la transmisión de una gran cantidad de señales.

En la figura 12 se muestra la diferencia de los espectros del transpondedores para FDMA en sus dos modalidades MCPC y SCPC como también para TDMA.

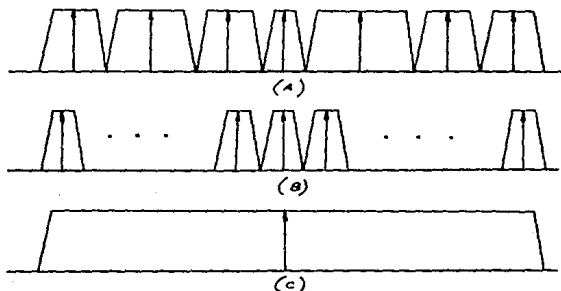


FIGURA 12 ESPECTROS DE TRANSPONDEDOR :
(A) MCPC / FDMA
(B) SCPC / FDMA
(C) TDMA (PORTADORA UNICA).

Algunas de las características más representativas de los sistemas de acceso múltiple tratados en este capítulo se muestran en la tabla 3

CARACTERÍSTICA	FDMA		TDMA	CDMA
	SCPC	MCPC		
TRANSMISIÓN	ANALÓGICA O DIGITAL	ANALÓGICA O DIGITAL	DIGITAL	DIGITAL
MULTIPLEXAJE	NINGUNO	FDM O TDM	TDM	TDM
MODULACIÓN	FM O PSK (CONTINUA O DE VOZ ACTIVADA)	FM O PSK	PSK DE ALTA VELOCIDAD (MODO BURST)	CODIFICADO AM O PSK
ANCHO DE BANDA DE PORTADORA	0.7 X LA RAZÓN DE BIT	DEPENDE DEL PLAN DE FRE- CUENCIA	TRANSPONDEDOR COMPLETO (TIPO CO) O ANCHO DE BANDA ES- TRECHO	TRANSPONDEDOR COMPLETO
CAPACIDAD (POR Mhz DEL ANCHO DE BANDA DEL TRANSPONDEDOR)	22 CANALES/ Mhz (ÚNICAMENTE VOZ)	16 A 25 CANALES/ Mhz (TÍPICO)	58 CANALES/Mhz	
APLICACIONES PRIMARIAS	VARIAS ESTA- CIONES DE BAJO TRAFICO.	ENLACES DE ALTO TRAFICO DE PUNTO A PUNTO.	NÚMERO INTER- MEDIO DE ESTA- CIONES (TRAFICO MODE- RADO).	APLICACIONES DE INTERFE- RENCIA SENSITIVA.

TABLA 3 TABLA COMPARATIVA DE TRES TIPOS DE ACCESO MÚLTIPLE.

CAPITULO 6

ELECCION DE DISPOSITIVOS DEL ENLACE.

Este capítulo se dedica a la selección del equipo que forma nuestra estación terrena. Para ello se cuenta con información de dispositivos, ya colocados en el mercado, para que hagamos un análisis de sus características. También se tratará lo relacionado al equipo de comunicaciones que forma parte de la red que existe entre el usuario del sistema y la estación terrena.

Cabe aclarar que todo el equipo de comunicaciones debe estar diseñada para tener distintas opciones y así poder seleccionar los que mejor se adapten a las necesidades del usuario.

6.1 GENERALIDADES.

En el trabajo se ha desarrollado esencialmente la optimización para datos por vía de un satélite doméstico. Ahora bien, en esta idealización se han considerado aspectos tales como los costos del equipo (amplificador de alta potencia, Modem, amplificador de bajo ruido, etc.) y algunos parámetros de cálculo de enlace. Esta sección será dedicada para mencionar algunas características técnicas y de operación del equipo que integra una estación terrena para la transmisión de datos. (R/R-Cov,86)

El diseño de una red para la transmisión de datos debe tener un adecuado balance entre los tiempos de de respuesta a los usuarios del sistema, la capacidad del transpondedor, la capacidad de la propia red, el aprovechamiento del circuito y otros parámetros para así obtener un costo definitivo.

Independientemente de las necesidades que se tengan, una estación terrena debe contener: Un buen sistema para el tipo de modulación y acceso al satélite; un sistema de data-poll para facilitar el tiempo de respuesta y controlar el tráfico de información; un sistema corrector de errores para garantizar la integridad de los bits y aumentar la eficiencia

de la potencia en el enlace; un protocolo altamente eficiente el cual garantiza el paquete de información y así minimizar las retransmisiones. Con estas características en las comunicaciones de voz y datos por satélite se puede obtener una red con un funcionamiento y flexibilidad excepcionales.

Es bueno aclarar que para realizar la selección de equipo es conveniente que se tenga un claro conocimiento de las necesidades que motivaron el estudio del enlace así como las posibles soluciones que puedan dar resultados en forma determinante. En general, estos requerimientos pueden contemplar el tipo de información a transmitir (voz, datos, etc.); la configuración de la red; si son datos, que velocidad se va a manejar, técnica de modulación y acceso; y otros más que no por menos importantes se dejan de mencionar.

En este caso, de alguna u otra forma, se ha establecido algunos parámetros tales como la técnica de acceso y de modulación. Ahora se desea proponer una configuración para la red de tipo estrella, formada por un centro de cómputo localizado en un punto determinado (puede ser una ciudad estratégica y de importancia) y un conjunto de "pequeños" centros de cómputo distribuidos por una buena parte del territorio. Al mismo tiempo estos últimos tendrán conexión entre algunos usuarios que se encontrarán en oficinas que

podrían considerarse como sucursales, como se muestra en la figura 13 .

Cada uno de los centros de cómputo formará una estación terrena que podrá transmitir y recibir información. Cabe aclarar que la estación localizada en la ciudad estratégica será la que coordine a todos los usuarios.

Veamos como sería la configuración. En primer lugar cada uno de los "pequeños" centros de cómputo deberá contener un MODOB para datos que permita transmitir y recibir información. El centro de cómputo principal deberá tener un MODOB para cada uno de los C. C. con que se tenga enlace. Además, cada estación deberá estar provista del equipo de RF que le permita hacer el papel transmisor de bits y deberá proporcionar las portadoras para las distintas sucursales. (Net. RE)

En forma muy resumida podemos decir que los componentes de una estación terrena son los siguientes: Antena, amplificador de bajo ruido, amplificador de alta potencia, convertidores de subida y bajada y el MODOB.

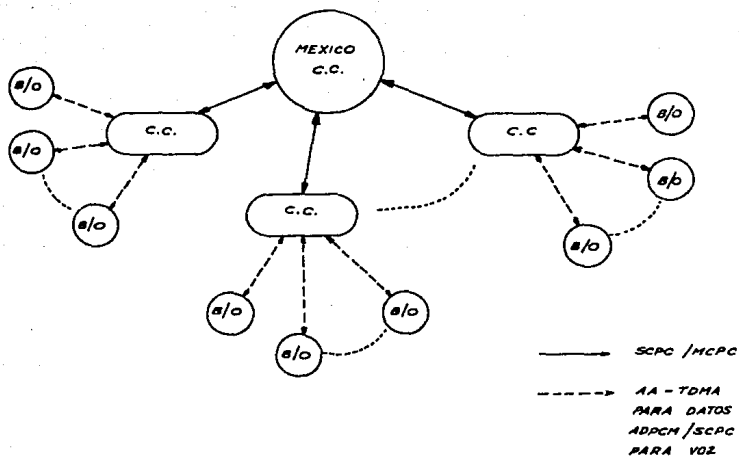


FIG. 13 CONFIGURACION DE LA RED.

6.2 CONFIGURACION DE LAS ESTACIONES TERRENAS.

Una estación terrena está formada por dos equipos principales; el de radio frecuencia y el de IF/banda base.

Al proponer un equipo de radio frecuencia se debe hacer mención de:

- El tamaño de la antena y el tipo de montaje.
- La potencia del HPA.
- Las características del LNC.
- Las capacidades de los convertidores, tanto el de subida como el de bajada. (Harris, 83)

Tanto el tamaño de la antena como la capacidad del amplificador de alta potencia se deben determinar considerando los requerimientos de los usuarios, esto es; la cantidad de tráfico, la calidad de la señal, etc.

Por otra parte, el equipo de IF/banda base está formado por:

- MODEN's de alta velocidad.
- IF divider/combiner.
- Unidades de switched.

5.3 ANTENAS.

Las señales recibidas y retransmitidas por el satélite son bajas en potencia, teniendo como resultado una gran susceptibilidad al ruido existente en el trayecto a la estación terrena. Por tal motivo, se puede decir, que del diseño que se haga de la estación terrena se podrá proporcionar suficiente ganancia y rechazo de ruido a las señales recibidas y así obtener una buena calidad de la señal. De acuerdo a lo anterior se puede afirmar que el desempeño de recepción de una estación depende casi totalmente de la antena y del amplificador de bajo ruido.

Debido a su importancia, uno de los componentes más costosos de la estación es la antena y de acuerdo a la naturaleza de las señales, el diseño se convierte en un asunto económico; ya que siempre se procura utilizar la antena más pequeña que provea una calidad de señal aceptable. Ahora bien, el analizar sus características proporciona los elementos adecuados para seleccionar alguna que se adapte a las necesidades.

Dentro de la descripción técnica que las compañías proporcionan de este componente mencionan aspectos tanto

mecánicos como de comunicaciones.

En este caso particular, independientemente de que se utiliza la banda Ku y que se transmite y recibe información, la característica principal de una antena es su ganancia, la cual es proporcional al tamaño de ésta. Esto es, cuanto más grande es la antena, mayor será la cantidad de señal que pueda recibir, sin embargo, el tamaño no es el único factor a considerar ya que también es importante tomar en cuenta a la eficiencia, así como su tipo de alimentación o configuración.

Dentro del diseño de este implemento el material de fabricación toma un papel muy importante, pues no se obtienen los mismos resultados con una antena de aluminio que con una hecha de fibra de vidrio. La determinación del material queda sujeta a la aplicación que se tendrá y al costo.

En lo que respecta a las características mecánicas, se tiene que si se desea cambiar los ángulos de elevación y azimut, esto se podrá llevar a cabo con ayuda de un motor eléctrico integrado, además se puede contar con un sistema de rastreo. No se debe olvidar del tipo de montaje que se va a usar, en donde ya interviene las resistencias de los materiales.

El transductor ortogonal (OBT) puede transmitir y recibir señales las cuales polariza ortogonalmente, para de ahí pasarlas al LNA y a una guía de onda, respectivamente.

Algunos valores comerciales del diámetro de las antenas son los siguientes:

De 1.8 a	3.0 m
De	3.5 m
De	4.5 m
De	5.0 m
De	7.2 m
De	9.7 m
De	10.0 m

6.4 AMPLIFICADOR DE BAJO NIVEL DE RUIDO (LNA).

Como se mencionó con anterioridad, el amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) junto con la antena definen las características de recepción de una estación terrena. Los factores de diseño a considerar relacionados con los LNA son los que se refieren a su ubicación, temperatura y configuración.

El principal parámetro del LNA es la cantidad de ruido con que contribuye mientras amplifica la señal del satélite. Esta contribución del ruido generalmente se mide en grados Kelvin.

La ubicación se define automáticamente al decidir el tipo de antena para luego conjuntamente con la temperatura de ésta definir la de los LNA y la del sistema.

Es importante hacer resaltar la conveniencia de operar la estación con sistema redundante de LNA con el fin de tener disponibilidad de la estación, ya sea de equipo u operativa.

A continuación se muestran algunos valores típicos de temperaturas para poder realizar una mejor selección en cuanto al valor más óptimo.

De 30 K

De 55 K

De 60 K

De 65 K

De 70 K

De 75 K

De 85 K

De 125 K

De 150 K

5.6 CONVERTIDORES.

La siguiente etapa en el sistema de recepción la componen los convertidores de frecuencia cuya función básica consiste en trasladar la frecuencia recibida del satélite a una frecuencia intermedia para ser alimentada al demodulador que a su vez la procesará y producirá la banda base.

La salida del LNA se conecta a un convertidor descendente de frecuencia intermedia para luego ser alimentada al demodulador que en conjunto con el equipo apropiado de procesamiento proporcionará las señales, en este caso, de datos. En ocasiones el convertidor descendente está integrado en una sola unidad con el demodulador. (Parris, 83)

6.6 AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPR).

En el lado de la transmisión las señales procedentes del usuario se procesan y modulan para aplicarlas a un amplificador de potencia (HPR), cuya función es proporcionar la energía de transmisión en radio frecuencia. Esta señal amplificada alimenta a la antena para ser radiada al satélite agregándole la ganancia respectiva.

El HPR físicamente está formado de dos unidades; la unidad de RF y la unidad de suministro de energía del TWT (tubo de onda progresiva).

La unidad de RF contiene (principalmente) un tubo TWT, un amplificador controlador de tipo FET de estado sólido (IPA) y otros componentes de RF. La unidad de suministro de potencia del TWT contiene, además de la fuente de suministro de potencia, circuitos de protección y de control. El suministro de potencia está diseñado para operación continua.

La señal de entrada de RF se amplifica en dos etapas, primero por el amplificador de potencia intermedio y después

por el amplificador principal TUT. También se utiliza un filtro pasa bajas a la salida del amplificador de TUT para rechazar las armónicas no deseadas.

El parámetro que, para este fin, es más importante en éste dispositivo es su potencia. Existen en el mercado algunos valores muy comerciales tales como:

De 1 U

De 2 U

De 10 U

De 20 U

De 35 U

De 50 U

De 100 U

De 400 U

De 600 U

De 3 000 U

6.7 MODEM.

En lo que respecta al equipo destinado al enlace que hay entre el usuario y la estación terrena, principalmente tenemos al MODEM. Sus características más importantes son las siguientes:

Un MODEM acepta datos, en forma digital, de un computador o de una terminal. La señal que contiene los datos es convertida a una señal modulada de audio frecuencia y la transmite através de una línea telefónica dentro del rango de voz. Posteriormente, en el extremo opuesto de la línea, otro MODEM demodula la señal recibida y la convierte nuevamente a datos digitales, los cuales son entregados a otra terminal o computadora. En este caso, la señal será entregada a la estación terrena transmisora antes de ser demodulada. Al ser enviada a la estación receptora el usuario podrá demodularla.

El MODEM, en su forma más general, consta de un transmisor, un receptor, circuitos de control, circuitos de interfaz, posibilidad de prueba digital y prueba analógica. Además debe ser compatible con las normas del CCITT y su salida analógica estará condicionada a 600 ohms para su conexión a las líneas telefónicas.

Este equipo estará diseñado para transmitir y recibir datos en forma síncrona en el modo simplex, semiduplex y duplex a la velocidad de 1200 bits por segundo. El modo de transmisión es determinado por el usuario con ayuda de una serie de mini-interruptores colocados en su parte interna.
(Kuo, 80)

6.8 ESTACIONES TERRENAS.

Estas se caracterizan por su función, y por el nivel de potencia radiada.

Una estación terrena consiste de un subsistema de antena, un subsistema amplificador de potencia, un sistema receptor de bajo ruido y un subsistema de equipo de comunicación terrestre. Por lo general las pequeñas estaciones terrenas no requieren del subsistema de rastreo debido al mayor ancho de banda de la antena comparado a la mayor apertura de las estaciones. En la figura 14 se muestra un diagrama a bloques de una estación terrena.

El funcionamiento de una estación terrena se especifica por su potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) y su relación ganancia a temperatura de ruido del sistema (G/T). El EIRP es el producto de la potencia de salida del amplificador de alta potencia y la ganancia de transmisión de la antena. La ganancia de la antena es proporcional al cuadrado del diámetro y depende de la eficiencia del alimentador del sistema reflector.

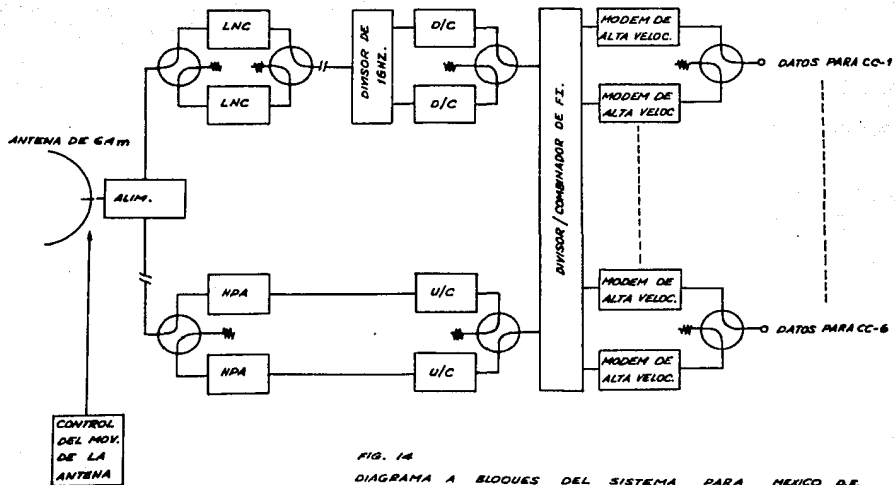


FIG. 14

DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA PARA MEXICO D.F.
DE ESTACION TERRENA.

CAPITULO 6

CALCULO DEL ENLACE.

En esta parte se estudiará la transmisión de información entre el satélite y las estaciones terrenas dentro del contexto de satélites geostacionarios y se analizarán los aspectos esenciales de telecomunicaciones tales como el cálculo del enlace, técnicas de modulación, así como las características del medio de transmisión.

6.1 GENERALIDADES.

Se dice que el análisis de un enlace es el cálculo de la relación señal a ruido en el extremo receptor en un enlace de comunicaciones, considerando el medio de transmisión y las características del transmisor y receptor. Para lograr lo anterior se debe tener en cuenta algunos parámetros tales como la ganancia y las pérdidas de la potencia de la señal, además se debe considerar el ruido a la entrada del receptor.

Para facilitar el análisis del presente capítulo se desglosará en los puntos siguientes:

- Potencia de la señal recibida.
- Eficiencia de la antena, ganancia y ancho de banda.
- Temperatura de ruido.
- Figura de mérito de una estación receptora.
- Relación portadora/ruido en la entrada del receptor.
- Influencia del medio de propagación en la señal.
- Transmisión de señales analógicas.
- Transmisión digital.
- Diseño del enlace para SCPC.

6.2 POTENCIA DE LA SEÑAL RECIBIDA.

Esta potencia (de la señal recibida) es función de la potencia transmitida, teniéndose en cuenta la distancia entre el receptor y el transmisor, así como las características de las antenas respectivas.

En la figura 15 como es el enlace; en él se considera que si el transmisor Tx ha sido equipado con una antena isotrópica, la potencia del transmisor P_t de una esfera con centro en Tx y radio R podría ser distribuida uniformemente por toda la esfera. Por lo que el flujo de potencia es:

$$\frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (1)$$

Como la antena transmisora tiene ganancia G_t en la dirección del receptor, la densidad de flujo de potencia en el receptor está dada por:

$$\frac{G_t P_t}{4\pi R^2} \quad (2)$$

El producto $G_t P_t$ es el PIRE (Potencia Isotrópica Radiada

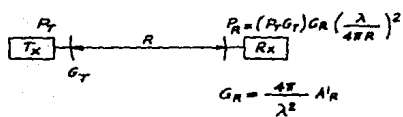
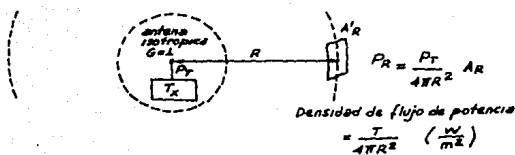


FIG 15. PARAMETROS DE ENLACE.

Efectiva) sin pérdidas en la transmisión.

La antena receptora, con un área de apertura efectiva A'_R , captura una potencia de la señal igual a:

$$\left[\frac{G_T P_T}{4\pi R^2} \right] A'_R \quad (3)$$

Por lo que la potencia en la entrada del receptor es:

$$P_R = P_T G_T \frac{A'_R}{4\pi R^2} \quad (4)$$

La ganancia de la antena receptora G_R se relaciona con el área equivalente A'_R por medio de:

$$G_R = \frac{4\pi A'_R}{\lambda^2} \quad (5)$$

en donde λ es la longitud de onda de la señal manejada. La relación de la potencia recibida con la potencia transmitida esta dada por:

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \quad (6)$$

La atenuación de la potencia en decibeles se puede expresar como:

$$\alpha_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} \quad (7)$$

por lo tanto:

$$\alpha_{dB} = 22 + 20 \log_{10} \left[\frac{R}{\lambda} \right] - G_T - G_R \quad (8)$$

en donde G_T y G_R representan la ganancia de las antenas en dB.

La atenuación de la señal contra la frecuencia varía de manera que:

$$L_{FS} = 22 + 20 \log_{10} \left[\frac{R}{\lambda} \right] \quad (9)$$

la cual nos permite conocer las pérdidas en el espacio libre (en dB), que no es otra cosa que la atenuación de la potencia de la señal entre dos antenas isotrópicas en el espacio libre. Las pérdidas en el espacio libre varían con la

frecuencia, esto es: A mayor frecuencia más altas serán las pérdidas. Sin embargo, estas pérdidas se compensan por el incremento en la ganancia de la antena con un aumento en la frecuencia para una antena de apertura dada. Para un satélite geostacionario el rango de pérdidas va de 195 hasta 213 dB. para frecuencias entre 4 y 30 GHz. (Serel, 88)

Estrictamente hablando, las expresiones (7) y (9) son teóricas y sólo se aplican en situaciones ideales; ya que en la práctica se deben considerar más pérdidas. Para ello, la expresión (7) se denota como:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T G_R}{L} \quad (10)$$

en donde L son las pérdidas totales. Esto es, las pérdidas en el espacio libre L_{FS} y las pérdidas adicionales L_A .

$$L = L_{FS} + L_A \quad (11)$$

en donde:

$$L_A = L_{FTX} A_{AG} A_{RAIN} L_{POL} L_{POINT} L_{FRX} \quad (12)$$

L_{FTT} = Pérdidas entre la salida del transmisor y la antena transmisora (cableado, duplexores, filtros, etc.).

A_{AG} = Atenuación por la atmósfera.

A_{raia} = Atenuación por precipitaciones y nubes.

L_{pol} = Pérdidas por polarización diferente entre las antenas transmisora y receptora.

L_{point} = Pérdidas por apuntamiento de la antena (estación terrena cercana al límite de cobertura).

L_{FR1} = Pérdidas entre la antena receptora y la entrada del receptor. (Nesal,88)

B.3 EFICIENCIA DE LA ANTENA, GANANCIA Y ANCHO DE BANDA.

La ganancia de una antena (referida a una antena isotrópica) puede expresarse en términos del área real A por medio de:

$$G = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (13)$$

en donde η es la eficiencia de la antena. Por lo regular ésta es del 60% y en antenas de muy buena calidad puede llegar al 70% .

A es el área real de la antena y el producto ηA se refiere a la apertura efectiva A' en la expresión (5).

Si se hace referencia a una antena circular con diámetro D , dicha ganancia puede expresarse como:

$$G = \eta \left[\frac{\pi D}{\lambda} \right]^2 \quad (14)$$

Para poder expresar la ganancia de una antena en la

dirección de su lóbulo principal se hace uso de la siguiente expresión:

$$G(\alpha)_{dB} = G_{MAX_{dB}} - 12 \left[\frac{\alpha}{\theta_{3dB}} \right]^2 \quad (15)$$

la ganancia máxima a la que se hace referencia en esta expresión es la numerada por la ecuación (15). Para ilustrar este punto se hace referencia a la figura 16

El valor θ_{3dB} es el ancho de haz de potencia media de la antena y corresponde a un desvanecimiento de 3 dB, en la ganancia de la antena como resultado de un ángulo de dispersión α igual a θ_{3dB} . Donde θ_{3dB} en grados está dado por:

$$\theta_{3dB} = 70 \left[\frac{\lambda}{D} \right] \quad (16)$$

Para una antena del 85% de eficiencia, la ganancia está dada por:

$$G = \frac{0.85 \pi^2 (70)^2}{\theta_{3dB}^2} = \frac{32000}{\theta_{3dB}^2} \quad (17)$$

si θ_{3dB} es más pequeña, la ganancia será mayor. (Hazel, 88)

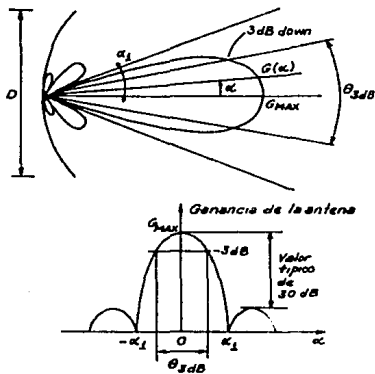


FIG. 16 PATRON DE RADIACION DE LA ANTENA

6.4 TEMPERATURA DE RUIDO.

Para desarrollar y poder comprender este punto veremos primeramente que el principal papel del receptor es el de amplificar la señal a un nivel en el cual ésta pueda ser aprovechada. El ruido del receptor, el ruido externo y la transferencia de otras transmisiones contaminan la señal que se está transmitiendo.

6.4.a) TEMPERATURA DE RUIDO DEL RECEPTOR.

Como se mencionó anteriormente, el receptor va a amplificar tanto a la señal como al ruido que acompaña a ésta; también se dijo que el propio receptor produce ruido. Pues bien, podemos decir que éste se caracteriza por su figura de ruido o bien, por su temperatura de ruido efectiva de entrada.

La figura de ruido es la relación entre la potencia de ruido máxima que puede permitirse a la entrada del receptor (N_{out}) y la potencia de ruido máxima que pudiera existir de no haber otra fuente de ruido que el generador conectado a la entrada del receptor a una temperatura de referencia estándar $T_0=290$ K, o sea, GNT_0Bif , en donde:

G = Máxima ganancia del receptor.

B_{IF} = Ancho de banda del ruido equivalente del receptor (considerado como el ancho de banda de la frecuencia intermedia del amplificador).

K = Constante de Boltzmann.

o bien: $10 \log K = -228 \text{ dBm}$

esto es:

$$F = \frac{N_{out}}{GK T_o B_{IF}} \quad (18)$$

esta relación se puede expresar en dB. En algunas ocasiones no conviene hacer uso de las figuras de ruido para menos de 3 db. Para ello es más factible considerar la temperatura de ruido efectiva a la entrada del receptor (T_e). En otras palabras, esto se refiere a la temperatura de ruido de una fuente a la entrada de un receptor de bajo ruido, el cual podría contribuir de la misma forma al ruido a la salida del receptor así como al ruido interno del sistema en uso.

Para calcular el valor de la potencia máxima del ruido a la salida de una fuente con una temperatura de ruido T_o a su entrada, se hace uso de la siguiente expresión:

$$N_{out} = GK T_o B_{IF} + GK T_r B_{IF} = GK (T_o + T_r) B_{IF} \quad (19)$$

de donde podemos obtener una relación entre F y T_e :

$$F = 1 + \frac{T_R}{T_0} \quad (20)$$

Para ver la relación que existe entre la temperatura efectiva del ruido de entrada y la figura de ruido, podemos valernos de la tabla 4. Así, a manera de ejemplo, se puede ver que una primera aproximación a las temperaturas de bajo ruido (menores de 100 K) tenemos que $T_e \approx 70F$ dB. (Barral, 86)

T_R ($^{\circ}K$)	7	35	75	290	865	2610	26710
F_R (dB)	0.1	0.5	1	3	6	10	20

TABLA 4 RELACION ENTRE LA TEMPERATURA EFECTIVA DEL RUIDO DE ENTRADA Y LA FIGURA DE RUIDO.

Cabe aclarar que las estaciones terrenas tienen una temperatura de ruido entre 10 y 200 K; y el satélite, en su receptor, tiene temperaturas de ruido del orden de los 1000 K.

6.4.b) TEMPERATURA DE RUIDO EN LA ANTERA.

La antena es otro elemento que no está exento, como toda la materia, de radiar una cierta cantidad de energía. En efecto, esta radiación interviene en la señal como un ruido indeseable y de hecho impuesto. Para definir la densidad espectral de potencia de dicho ruido N_0 (expresada en watt/Hz) como una función de la temperatura de antena T_A (en Kelvin) se hace uso de la siguiente expresión:

$$N_0 = K T_A \quad (21)$$

donde K es la constante de Boltzmann.

Existen dos aspectos por los que la temperatura de la antena puede variar. Estos son:

I) La absorción de temperatura de agentes radiadores externos.

II) La ganancia de la antena y la orientación relativa con respecto a dichos agentes radiadores.

En lo que respecta a una antena que se ha destinado para

que se utilice en conjunto con un satélite, tenemos que considerar dos fuentes de ruido muy importantes, éstas son:

i) Ruido atmosférico.

ii) Ruido debido a la propia radiación terrestre.

En lo que respecta a la primera clase de ruido tenemos que el principal contribuyente es la región no ionizada de la atmósfera, para frecuencias arriba de los 2 GHz. La figura 17 indica cómo es la temperatura de ruido atmosférica con respecto a la frecuencia para diferentes ángulos de elevación y con ciertas características climatológicas. Puede verse claramente que para un ángulo de elevación de 5 grados el ruido atmosférico tiene un valor inferior a los 40 K para una frecuencia entre 7 y 15 GHz. Cabe aclarar que las fuentes de ruido atmosférico contribuyen de alguna manera a la cantidad de ruido total.

Para los satélites geostacionarios el Sol juega un papel muy importante. La temperatura de ruido de éste va desde los 5×10^4 K para 4 GHz a los 10^4 K para 12 GHz. Por otra parte, para nuestros fines se puede considerar como despreciables a otras fuentes de ruido extraterrestre, por ejemplo la Luna.

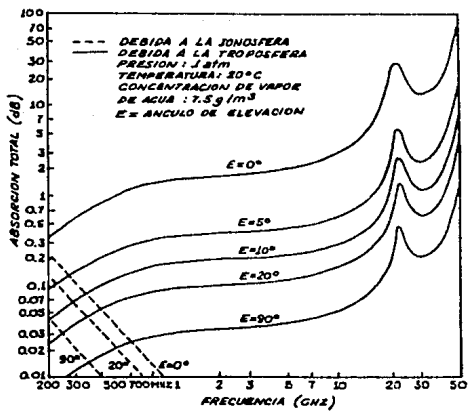


FIG. 17 ATENUACION TOTAL DE RADIOONDAS POR GASES ATMOSFERICOS CONTRA FRECUENCIA PARA VARIOS ANGULOS DE ELEVACION (E)

Haciendo referencia al ruido producido por la radiación de la Tierra se puede decir que su valor es casi igual a su temperatura (290 K aproximadamente) y que contribuye al ruido de la antena de acuerdo a la elevación y a los lóbulos traseros. (Razal,86)

6.4.c) TEMPERATURA DE RUIDO TOTAL A LA ENTRADA DEL RECEPTOR.

Para conocer el valor de la temperatura de ruido total de un sistema que contempla un receptor con temperatura de ruido efectiva a la entrada de T_A , conectado a una antena con temperatura de ruido T_A por medio de un circuito con una atenuación L a una temperatura de operación θ_L , podemos hacer uso de la siguiente expresión:

$$T = \frac{T_A}{L} + \theta_L \left(1 - \frac{1}{L}\right) + T_R \quad (22)$$

de donde se puede conocer la potencia de ruido total (N) por medio de:

$$N = KTB_{IF} \quad (23)$$

donde K es la constante de Boltzmann y B_{eq} es el ruido equivalente del ancho de haz del sistema.

Para optimizar nuestro enlace se necesita que la temperatura de ruido de la estación terrena sea del mismo orden que la del receptor. En la figura 16 se observan algunas temperaturas de ruido típicas para algunos dispositivos.

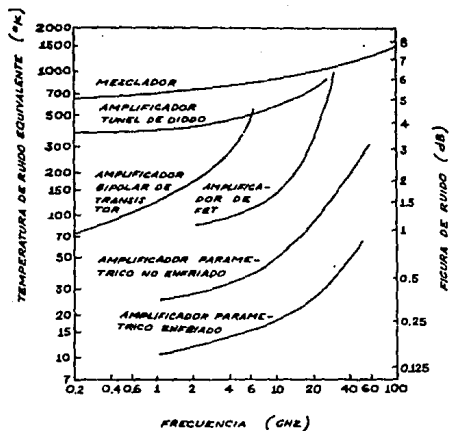


FIG. 18 TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO TÍPICA Y FIGURA DE RUIDO DE VARIOS DISPOSITIVOS.

6.6 FIGURA DE MÉRITO DE UNA ESTACION RECEPTORA.

Una relación por medio de la cual se define una estación terrena receptora, así como al propio receptor del satélite, es la figura de mérito. Esta es un cociente que involucra a la ganancia de una antena y la temperatura de ruido total a la entrada del receptor, esto es:

$$\frac{G}{T} \quad \left[\text{dBK}^{-1} \right] \quad (24)$$

5.6 RELACION PORTADORA A RUIDO EN LA ENTRADA DEL RECEPTOR.

Esta relación se puede obtener con la ayuda de las ecuaciones (17) y (24) con las cuales se llega a:

$$\frac{C}{N} = \frac{P_T G_T G_R}{L K T B_{IF}} \quad (25)$$

y si

$$N_0 = \frac{N}{B_{IF}} \quad (26)$$

entonces:

$$\frac{C}{N_0} = \left(\frac{P_T G_T}{4\pi R} \right)^2 \left(\frac{G_R}{T} \right) \left(\frac{1}{K} \right) \left(\frac{1}{L_A} \right) \quad (27)$$

en donde L_A son las pérdidas adicionales no consideradas tales como las del espacio libre y K es la constante de Boltzmann. (Hera1,86)

Si se expresa en decibeles tenemos que la relación portadora/ruido de la densidad espectral de potencia está dada por:

$$\frac{C}{N_0} = 10 \log_{10} P_T G_T - 20 \log_{10} \frac{4\pi R}{\lambda} + 10 \log_{10} \frac{G_R}{T} - 10 \log_{10} L_A - 10 \log_{10} K$$

6.7 INFLUENCIA DEL MEDIO DE PROPAGACION EN LA SEÑAL.

En la atmósfera la propagación de la señal sufre algunos cambios. Ello se debe a los fenómenos de absorción, difusión (difracción), refracción y la rotación del plano de polarización de las ondas electromagnéticas.

Los fenómenos ya mencionados dependen de ciertos factores, el más importante parece ser la longitud de la trayectoria de donde se desprende que los efectos ocasionados serán mayores para ángulos de elevación muy pequeños. Sin embargo, la absorción y la difusión son causadas, principalmente, por las capas inferiores de la atmósfera. La absorción de la energía de la señal trae como consecuencia un incremento de ruido en la antena del receptor. Por otra parte, la refracción se lleva a cabo en las partes altas de la atmósfera (en la tropósfera exactamente). Finalmente, la depolarización se efectúa cuando las ondas de la señal pasan a través de la ionósfera, o bien, cuando hay lluvia.

Cabe aclarar que en la atmósfera existen ciertos "ventanas" en las cuales la atenuación de la señal es pequeña. Se dice que la transmisión puede llevarse a cabo sin tantos problemas cuando se usan frecuencias inferiores a los

10 GHz. Profundizando un poco más en el fenómeno de la absorción por gases atmosféricos se concluye que ésta se debe a las líneas de absorción de oxígeno y de vapor de agua contenidas en la capa gaseosa de la Tierra.

La figura 19 indica cómo es la atenuación por gases atmosféricos de acuerdo a la frecuencia y con distintos ángulos de elevación.

Es muy importante considerar a la absorción debida a la lluvia, ya que ésta depende de la frecuencia que se está usando, del periodo de lluvias y del diámetro y distribución de las gotas de agua. Si consideramos un periodo de lluvias por un cierto tiempo, la atenuación resultante de las ondas de la señal Rain, se puede obtener al hacer el producto de la atenuación específica debida a la lluvia γ_R , expresada en dB/km, entre la longitud efectiva de la trayectoria L_e , expresada en km, ver figura 20. Esto es:

$$A_{rain} = \gamma_R L_e \quad (29)$$

La figura 21 se muestra cómo obtener la atenuación específica de acuerdo a valores de intensidad de lluvia y a la frecuencia.

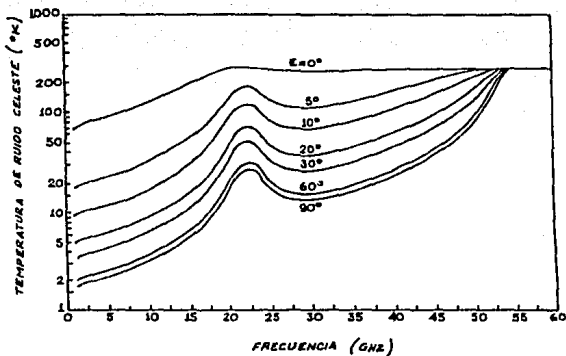


FIG. 19 TEMPERATURA DE RUIDO CELESTE PARA AIRE CLARO Y 7.5 g/cm^3 DE CONCENTRACION DE VAPOR DE AGUA (E, ES EL ANGULO DE ELEVACION).

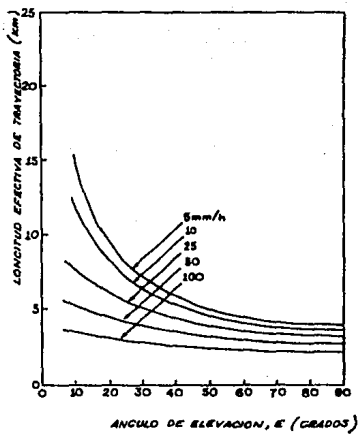


FIG. 20 LONGITUD EFECTIVA DE TRAYECTORIA

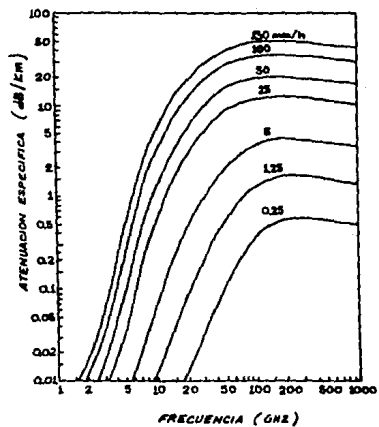


FIG. 21 ATENUACION ESPECIFICA DEBIDA A LLUVIA.

Otro de los fenómenos que se mencionaban era el de la refracción, pues bien, este índice (de refracción) disminuye con la altitud y además incluye un incremento en el ángulo de elevación aparente de la trayectoria de la señal del satélite. Esto quiere decir que las variaciones en el índice de refracción traen consigo cambios en la posición aparente del satélite visto desde la estación terrena. Así se tiene que para un ángulo de elevación de 5 grados, la variación es de 0.2 grados, y además éste varía muy poco cuando se tiene una concentración de vapor de agua. Lo anterior puede ser despreciable para frecuencias menores a los 30 GHz y para antenas pequeñas. (Harel,86)

Por último, cabe aclarar que la ionósfera es una zona de alta densidad de electrones. La ionización en esta capa de la atmósfera se debe a la radiación solar. Por lo que las ondas de la señal están sujetas a:

- Atenuación
- Refracción
- Depolarización
- Retraso de la propagación

Lo anterior puede ser despreciable para frecuencias menores a 2 GHz.

B.8 TRANSMISION DE SEÑALES ANALOGICAS.

Como ya se sabe, la calidad de un enlace queda perfectamente definida por la relación señal a ruido (S/N) después de la demodulación. En la frecuencia intermedia a la salida del amplificador y antes de que se lleve a cabo la demodulación, la señal modulada, ocupa una banda de frecuencia B_{FP} , la cual depende de FM y de la técnica de modulación utilizada.

Cuando se trata de comunicaciones por vía satélite, el plan de modulación que más se utiliza es el de modulación en frecuencia (FM), aunque últimamente se tiende a la amplitud modulada, específicamente la de banda lateral única, la cual permite una disminución en el ancho de banda en comparación con FM. Sin embargo la banda lateral única no ofrece un ancho de banda tal que permita un tráfico como el que maneja FM.

En lo que respecta a FM, la potencia media de una portadora modulada es constante y equivalente a la potencia de la portadora C ; además, la portadora modulada ocupa un ancho de banda igual a $2f_m(m_f+1)$, según la regla de Carson, de donde tenemos que m_f es el índice de modulación (relación

entre la máxima desviación de frecuencia y la frecuencia máxima de la señal de banda base, f_m). Para que los anchos de banda de la portadora y del receptor sean iguales se define a B_{IF} como:

$$B_{IF} = 2f_m (mf + 1) \quad (30)$$

Si se tiene que $s(t)$ es la señal de banda base, entonces:

$$\frac{S}{N} = 3 mf^2 \frac{C}{N_0} f_m E(m^2(t)) \quad (31)$$

en donde $E(m^2(T))$ es la potencia promedio de la señal de banda base. (Sartel, 85)

Cuando la señal que se está modulando es sinusoidal, o bien, de la forma $s(t) = \cos U_m(t)$ y su potencia promedio es $1/2$, entonces se tiene:

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N_0} f_m \left(\frac{3}{2}\right) mf^2 \quad (32)$$

de esta forma:

$$\frac{S}{N} = 3 (mf + 1) mf^2 \frac{C}{N} \quad (33)$$

Las curvas obtenidas de S/N en términos de C/N, donde $N = N_0 B_{IF}$, se muestran en la figura 22 considerando un índice de modulación entre 1 y 30. Puede verse claramente cómo S/N comienza a decrecer con C/N.

6.8.a) SCPC/FM para telefonía.

En primer lugar se hará la aclaración de que, para estos fines, un canal telefónico es muy importante ya que es un medio que se ha venido utilizando también para la transmisión de datos. Esto es, un canal que se utilizó en un principio para voz, en la actualidad se usa para transmitir, en el mismo ancho de banda, datos.

El ancho de banda que éste ocupa va de los 300 a los 3400 Hz. La máxima cantidad de energía que se transmite oscila entre los 800 Hz. y el 99% de la energía está por debajo de los 3000 Hz. (Noral,86)

El nivel de potencia promedio de un canal telefónico, tomando como referencia al punto cero de un nivel relativo (dicho punto es aquél en el que una señal de prueba, la cual

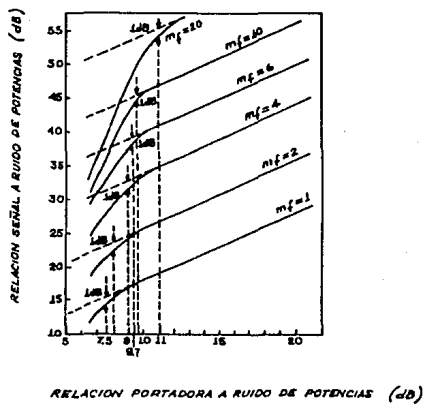


FIG. 22 RELACION SEÑAL A RUIDO DESPUES DE DEMODULACION DE FRECUENCIA CONTRA RELACION PORTADORA A RUIDO PARA VARIOS INDICES DE MODULACION.

consiste de un tono de prueba de 800 Hz, tiene una potencia de 1 μ W, con una carga de 800 Ohms), tiene un valor de -15 dBm cuando el canal se activa el 0.35 de un tiempo dado.

Por otra parte, el punto cero del nivel relativo, en ningún canal telefónico, no debe exceder de:

i) 10 000 pWp, pesado psfométricamente, en un minuto de la potencia media para más del 30% de cualquier mes.

ii) 50 000 pWp, pesado psfométricamente, en un minuto de la potencia media, por más del 0.3% de cualquier mes.

iii) 1 000 000 pWp, sin "pesar" (con un tiempo integrado de 5 seg.) por más del 0.01% para cualquier año.

"La potencia pesada psfométricamente", al igual que el ruido, se miden por medio de un filtro psfométrico el cual tiene un efecto de filtrado a ruido parecido al del oído humano. (Nesal, 66)

Si se hace uso de la ecuación (33) y considerando que la señal de prueba es la señal que se modula, la potencia del ruido, expresada en WOp, en el punto cero del nivel relativo está dada por:

$$N_{pwop} = 10^9 \left(\frac{S}{N} \right)^{-1} \quad (34)$$

donde:

$$\frac{S}{N} = 3 \left(\frac{\Delta f_r^2}{f_{max}^3 - f_{min}^3} \right) P W \left(\frac{C}{N_0} \right) \quad (35)$$

dicha ecuación define la relación S/N para SCPC/FM con un solo canal telefónico.

Δf_r = Desviación de frecuencia res debida al tono de prueba.

f_{max} = Frecuencia superior del canal telefónico = 3 400 Hz.

f_{min} = Frecuencia inferior del canal telefónico = 300 Hz.

P = Mejora debida al preénfasis (4dB).

W = Factor de peso psfoométrico (2.5 dB).

Por otra parte el ancho de banda de radio frecuencia requerido está dado por:

$$B_{IF} = 2 (\Delta f_p + f_{max}) \quad (36)$$

donde:

ΔF_p = Desviación de frecuencia máxima (Hz) = $\Delta F_{rg} L$

L = Factor de carga, es igual a la relación de la desviación de frecuencia rms producida por una señal de voz activa y la desviación de frecuencia rms ΔF_p producida por el tono de prueba = 0.25

g = Factor rms máximo = 12.6 (Normal, 00)

6.6.b) FDM/FM

El multiplexaje de la frecuencia es la combinación de canales telefónicos en el espectro de frecuencia; en esta técnica se reserva un rango de 4 KHz para cada uno de los canales.

Para un número de canales telefónicos dado, la distribución de amplitud depende de:

i) El número n de los canales.

ii) El nivel de potencia promedio del canal (-15 dBm0).

6.9 TRANSMISION DIGITAL.

Este es un punto importante que se tratará en forma detallada. Primero se mencionan las características de los sistemas de transmisión digital, éstas son:

i) Rango de error de bit. Este se define como una probabilidad del número de bit's erróneos a la salida del receptor.

ii) Ancho de banda requerido en el amplificador de IF.

iii) Complejidad en el equipo transmisor y receptor.

En la figura 23 se muestran los principales elementos de un sistema de comunicación digital. Los símbolos pueden tomarse de fuentes de datos digitales (datos de computadoras, datos de un teletipo, etc.) o bien de fuentes analógicas (voz, video, etc.) estos símbolos se muestran con un rango periódico $F_s = 1/T_s$ con muestras, que se cuantizan antes de la transmisión por medio de un nivel Δ .

Cada fuente de información se acopla a una fuente codificadora, la cual convertirá a la información de la

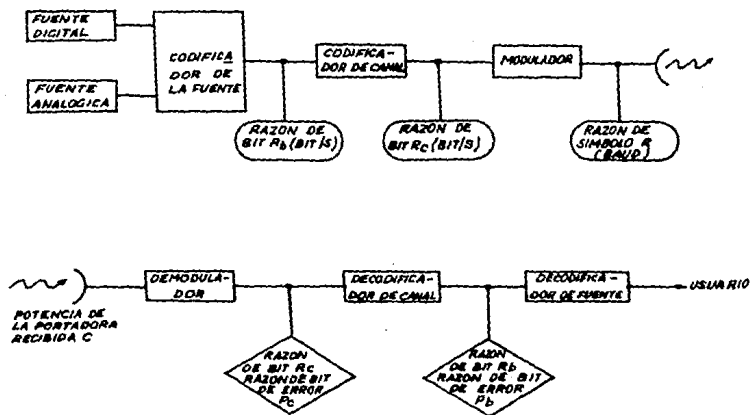


FIG. 23 MODELO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION DIGITAL

fuentes de datos. El codificador emplea ciertas técnicas para que la transmisión de información se lleve a cabo de una manera eficiente sobre el canal. Si el número de datos enviados por la fuente codificadora desde los $K=2^k$ símbolos, en una tasa de $1/T_s$ es R , entonces estos R símbolos pueden ser representados por $n = \log_2 R$ símbolos binarios. El rango de bits a la entrada del canal codificador es $R_b = 1/T_b = a/T_s$.

Dentro del canal codificador los bits de información pueden sufrir ciertas alteraciones. Para contrarrestar lo anterior se hace uso de r bits de redundancia para a bits de información, con ello se lleva a cabo un control a la vez que se corrigen los errores. De esta forma, el rango de bits a la salida del codificador R_c es mayor al de la entrada del canal codificador R_b . La relación $\rho = R_b/R_c = a/a+1$ es conocida como rango de código.

Por otra parte, el modulador genera R símbolos de a bits codificados sucesivamente y los transfiere a las señales del canal $S_i(t)$, $i=1,2,3,\dots$. Un elemento de la señal $S_i(t)$ se transmite cada T segundos, de esta forma, el rango de símbolo (elementos de la señal por segundo) es $R = 1/T$ expresado en bauds.

La función del modulador consiste en mapear uno a uno

los símbolos de las M señales del canal, o producir cambios en éstas. Este proceso se llama modulación codificada diferencialmente.

En el extremo receptor esta operación se lleva a cabo en forma inversa. Esto es, el demodulador interpreta a la señal recibida como uno de los M símbolos del canal. El canal decodificador convierte la secuencia de bits a la salida del demodulador en símbolos de datos, los cuales, de no contener errores, corresponden a los símbolos de los datos transmitidos.

6.9.a) TÉCNICAS DE MODULACION DIGITAL.

Ya se ha establecido que a la modulación se envían $\mu=2^M$ símbolos a intervalos de T segundos por medio de una portadora de radiofrecuencia modulada. Esta portadora modulada se puede expresar como: $S(t) = \sum_i S_i(t) X(t-iT)$ (37)

$X(t-iT) = 1$ si $0 \leq t \leq T$ y 0 en cualquier otro caso. (38)

donde:

$$S_i(t) = A_i \cos(\omega_c t + \theta_i) \quad (39)$$

de donde: $f_c = \omega_c/2\pi$ es la frecuencia de la portadora.

Las expresiones de A_i y θ_i determinan la modulación a la salida de acuerdo con:

- i) Modulación por amplitud de pulso (PAM).
- ii) Cambio de frecuencia múltiple (RFPM).
- iii) Cambio de fase múltiple (RFSM).

Si $N = 2$ entonces MFSK y MPSK se considerarán como cambio de frecuencia FSK y cambio de fase PSK, respectivamente.

En los sistemas de comunicación por satélite, para que

se reduzcan las fluctuaciones de la portadora modulada, es conveniente hacer uso de BPSK y QPSK, para mantener un grado de baja complejidad en el modulador y demodulador.

Para este fin, se considera que QPSK satisface nuestros requerimientos y por lo mismo nos inclinamos por ella. Posteriormente justificaremos esta elección.

6.9.b) MODULACION QPSK.

Este tipo de modulación en cuadratura relaciona cada par de bits del total de la secuencia a una de cuatro fases, de la portadora de acuerdo con el ejemplo del siguiente esquema (código Gray).

Símbolo del canal	00	01	11	10
Fase de la Ptdra.	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$

Alternativamente, cada uno de los pares de bits puede formar un cambio en la fase de manera análoga o codificando diferencialmente, esto es:

Símbolo del canal	00	01	11	10
Cambio de fase	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$

La portadora QPSK se puede considerar como la suma de dos portadoras BPSK. En la figura 24 se muestran las densidades espectrales de potencia para algunas técnicas de modulación no filtradas. (Ravel,88)

6.9.c) ERROR EN EL USO DE LAS TÉCNICAS DE MODULACION.

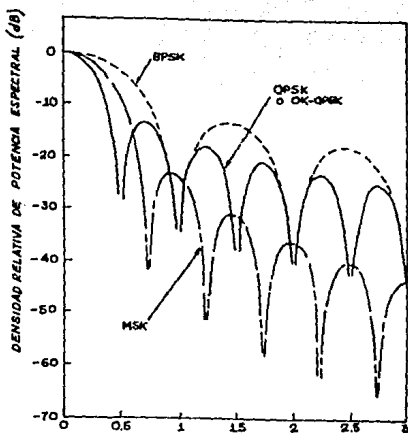
Una relación muy utilizada en las técnicas de comunicación digital es la que existe entre el rango de error de bit y la relación señal a ruido E_b/N_0 , donde E_b es la energía por bit de información y N_0 es el ruido parcial de la densidad espectral de potencia. El término E_b se relaciona con la potencia de la portadora C , y el rango de error de bit se puede conocer por medio de:

$$E_b = \frac{C}{R_b} \quad (40)$$

Considerando un sistema codificador digital podemos definir a la energía por bit transmitido, E_c , por medio de:

$$E_c = \frac{C}{R_c} \quad (41)$$

donde R_c es el rango de bit transmitido en el enlace de radiofrecuencias.



$(f - f_c) / \text{RAZON DE BIT}$
 f_c : FRECUENCIA DE PORTADORA
 FIG. 24 DENSIDADES DE POTENCIA
 ESPECTRAL PARA :
 BPSK, QPSK, O OK-QPSK Y
 MSK .

6.10 DISEÑO DEL ENLACE PARA SCPC.

El objetivo de un sistema SCPC se calcula con base en el conocimiento de la potencia isotrópica radiada efectiva del satélite (PIRE), la relación de la ganancia del receptor a temperatura (G/T), la ganancia del satélite, y la relación G/T de la terminal terrestre.

Cinco contribuciones de ruido son tomadas en cuenta para ser introducidos en las características de las estaciones terrestres y estas son: El ruido del enlace de subida (esencialmente el ruido de entrada del satélite); el ruido de intermodulación del satélite (debido a las no linealidades en los amplificadores del satélite); el ruido del enlace de bajada (ruido de entrada de la antena y la estación terminal); el ruido de FM o fase (de todos los osciladores de transición); y ruido debido a la interferencia (un valor de 1000 pWpC es introducido para estar dentro de las normas de CCIB).

Cualquier diseño de un sistema debe incluir márgenes de operación para tomar en cuenta condiciones de degradación de la transmisión (lluvia, desalineamiento de la antena, etc.) y

para la expansión del equipo (un cambio actual de características técnicas).

6.10.a) RELACION SEÑAL A RUIDO (S/N).

Cuando se opera arriba del umbral, la relación señal a ruido de un sistema SCPC está dado por:

$$\frac{S}{N} = \frac{3}{2} \left(\frac{C}{N_0} \right) \frac{\Delta f_s^2}{f_u^3 - f_l^3} \quad (42)$$

donde:

C/N_0 es la densidad portadora a ruido.

f_s es la desviación pico de la señal.

f_u es el límite de frecuencia superior del ancho de banda.

f_l es el límite de frecuencia inferior del ancho de banda. (Ferguson, 83)

Para sistemas de SCPC, f_u es mucho mayor que f_l y la relación S/N está dada por:

$$\frac{S}{N} \approx \frac{3}{2} \left(\frac{C}{N_0} \right) \frac{\Delta f_s^2}{f_u^3} \quad (43)$$

La señal S , es usualmente considerada como un tono de

prueba de un valor de 0 dBm0 a 1000 Hz. Δf_0 es la desviación pico de esta señal.

Los sistemas con énfasis generalmente tienen arreglos de pre-énfasis y de-énfasis ajustados para una ganancia de 0 dB a 1000 Hz.

Para sistemas de SCPC con un de-énfasis de 8 dB por octava y un ancho de banda de 300 Hz. a 3400 Hz, el factor es de 6.3 dB para un arreglo con 159 microsegundos de de-énfasis el factor es de 5.8 dB. (Ferguson,83)

B.10.b) DENSIDAD PORTADORA A RUIDO (C/No).

C/No puede ser calculada por:

$$\frac{C}{N_0} \Big|_{dB} = EIRP - L_p + \frac{G}{T} - K \quad (44)$$

donde:

EIRP es la potencia isotrópica radiada efectiva en dBm.

L_p son las pérdidas de trayectoria entre antenas isotrópicas en dB.

G/T es la relación de la ganancia de la estación receptora a temperatura en dB/K donde la ganancia es de la antena respecto de una isotrópica.

K es la constante de Boltzman y es igual a -228.6 dBW/HzK.

B. 77 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

Cuando modulamos una señal, por cualesquiera de las técnicas digitales conocidas, con el fin de llevar a cabo la transmisión de información, de alguna u otra forma se va a tener un cierto rango de error. La cantidad de información que pudiera perderse va a estar relacionada con dicho rango. Esto es mientras más pequeño sea un valor, las pérdidas de información serán mínimas y como consecuencia, el receptor no tendrá dificultad en "comprender" los mensajes enviados. Cabe aclarar que para cada técnica de modulación se tendrá un cierto rango de error de bit, el cual también dependerá del valor de la relación E/Ro (dB) de la señal utilizada.

Para nuestros fines, y basándonos en los requerimientos de CCITT para una modulación de tipo QPSK, se ha considerado un rango de error de bit de 10^{-7} . Ver figura 3.

En lo que respecta al punto B.7 de este mismo capítulo, podemos decir que los efectos atmosféricos se pueden considerar despreciables cuando se trabaja entre los 3 GHz y los 10 GHz así como para ángulos de elevación altos. Por otra parte, a altas frecuencias, la absorción de la señal por

gases atmosféricos y principalmente la atenuación por lluvia actúan de una manera muy notoria sobre nuestra señal.

Por último, estos fenómenos tendrán mayores efectos cuando se trata de grandes trayectorias por lo que se deben evitar los ángulos de elevación muy pequeños. Un valor mínimo muy común que podría aceptarse es aquel que está entre 5 y 10 grados.

CAPITULO 7

OPTIMIZACION S/N VS. COSTOS.

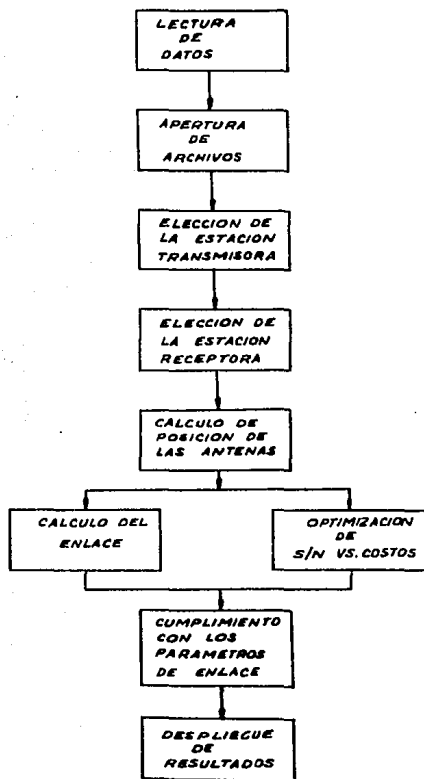
En este capítulo se presenta el procedimiento seguido para la elaboración del programa, haciendo uso de diagramas de flujo, y bajo la premisa de optimizar la eficiencia del enlace al mínimo costo.

Este programa calcula los parámetros de enlace para la transmisión en banda KU (14/12 GHz) y realiza el cálculo de costos tomando en cuenta una relación portadora a ruido de referencia mínima que para nuestro caso se ha fijado en 12 db.

El programa hace uso de un conjunto de subrutinas para el cálculo de C/N y posicionamiento de la antena así como una

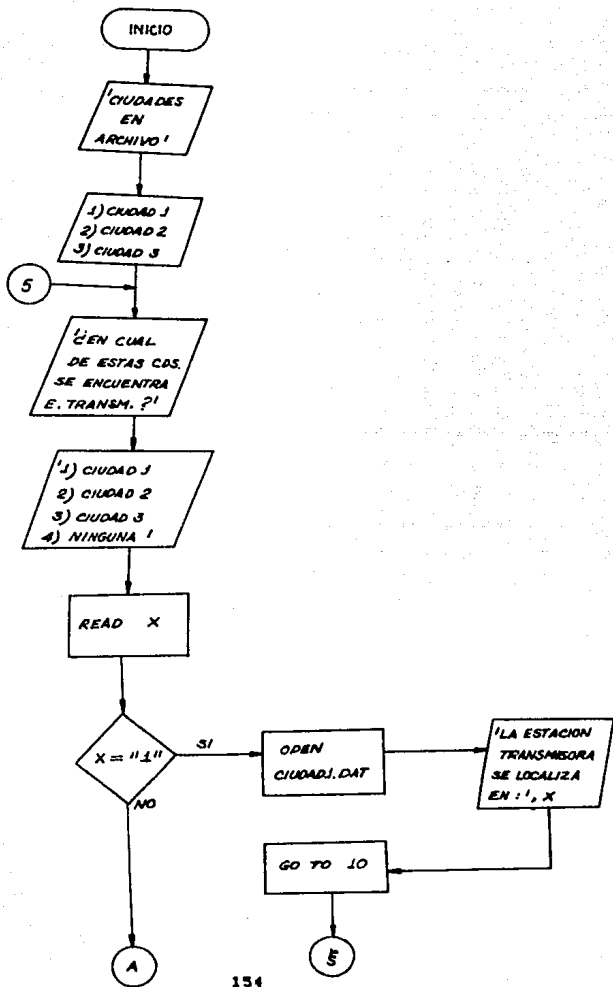
serie de archivos en los cuales se encuentra los distintos datos de relevancia como son; los parámetros de tres lugares de acceso típico, siendo posible extender su aplicación a cualquier lugar en particular, los parámetros del sistema satélite Morelos y los costos actuales de tres variables (temperatura, diámetro y potencia) que intervienen en el enlace, interactuando hasta lograr el menor costo a la vez que se cumple con los requerimientos del enlace.

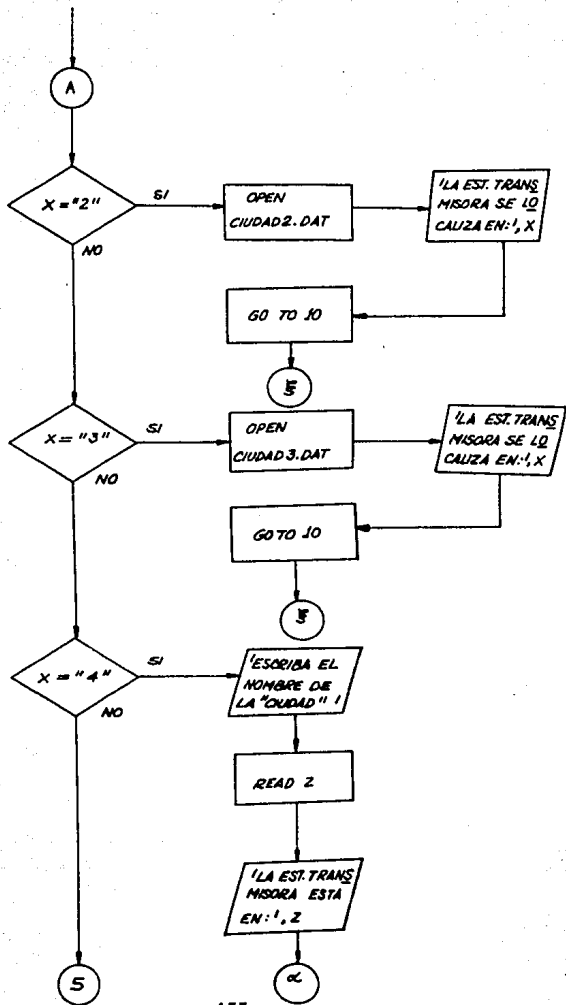
7.1 DIAGRAMA GENERAL DEL PROGRAMA.

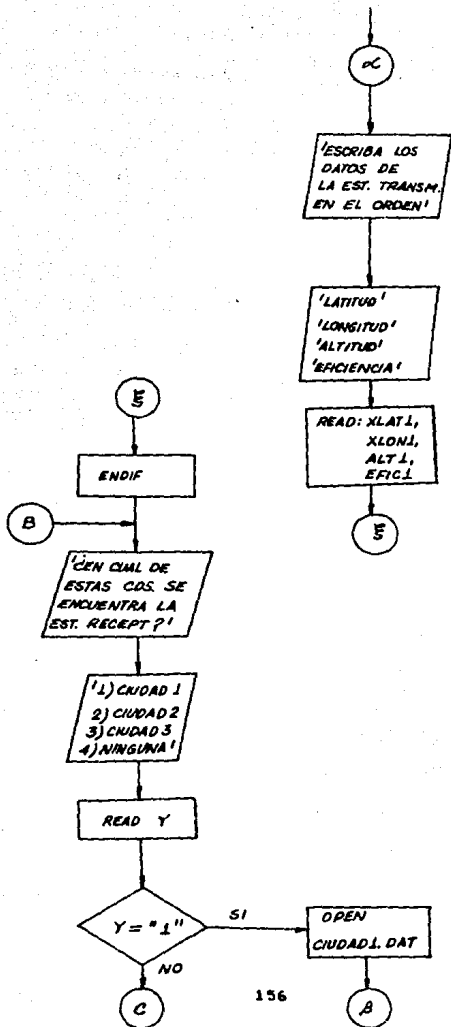


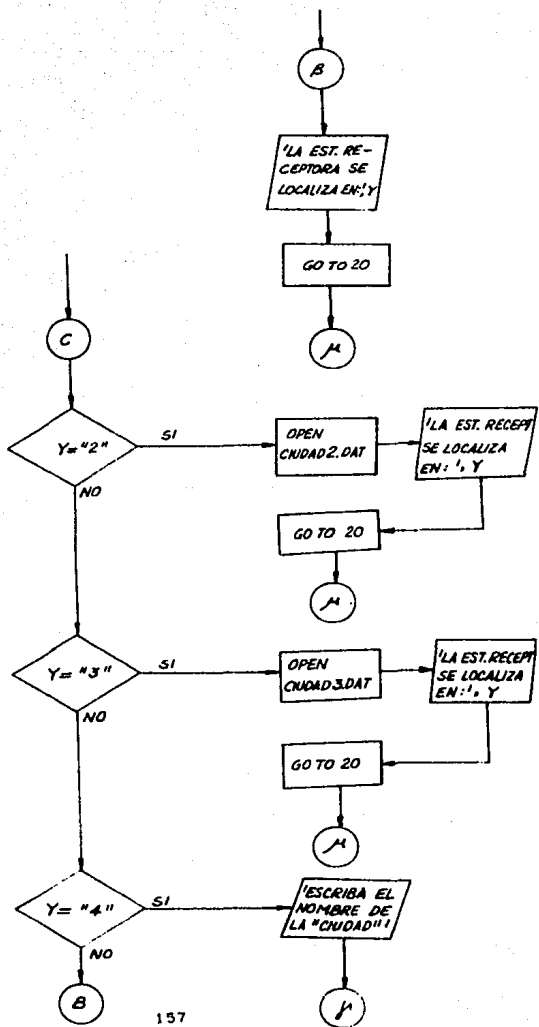
7.2 DIAGRAMA DE FLUJO.

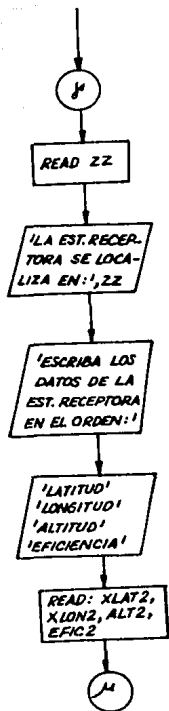
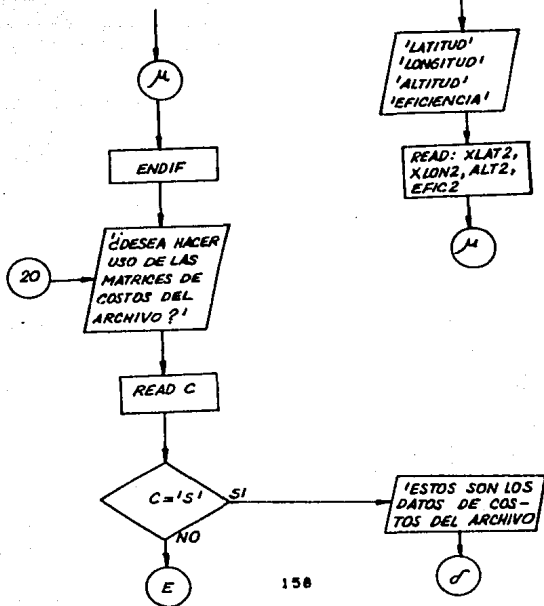
En base al diagrama anterior se desglosa en forma detallada el diagrama de flujo de todo el programa.

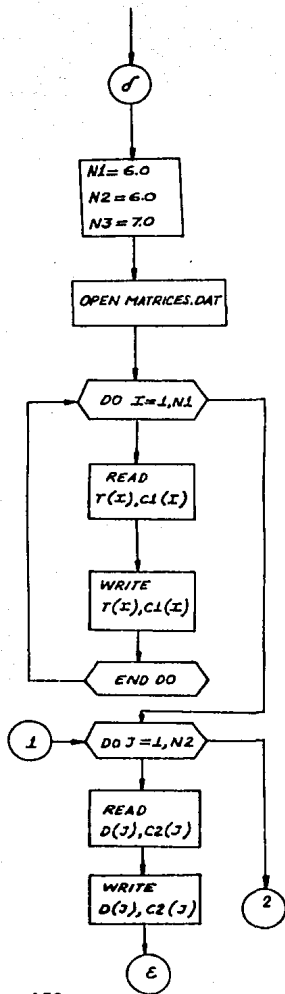


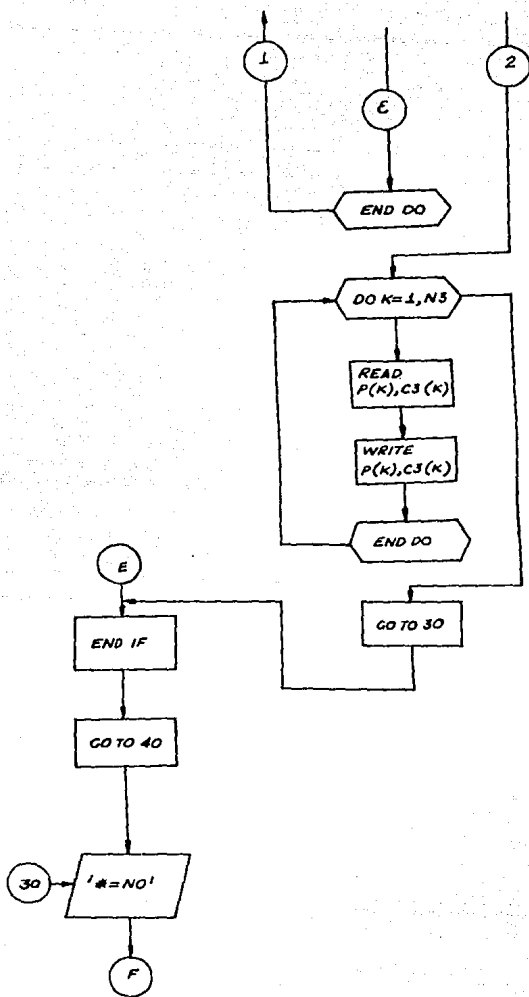


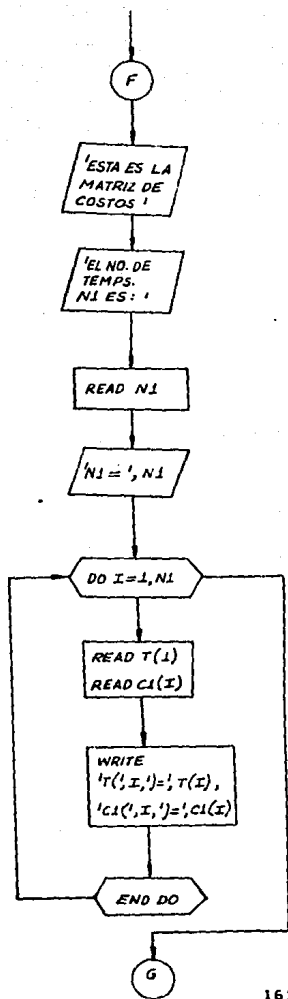


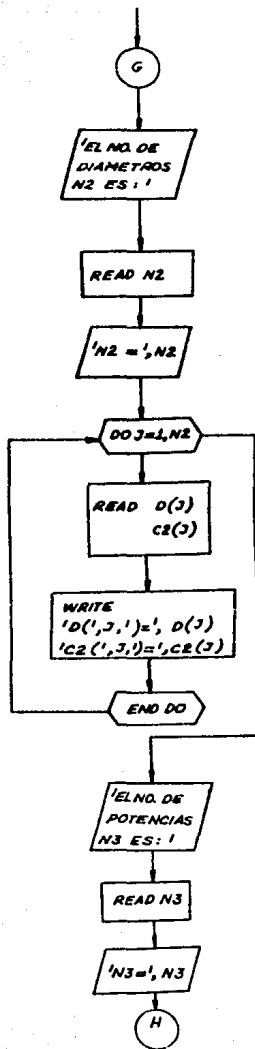


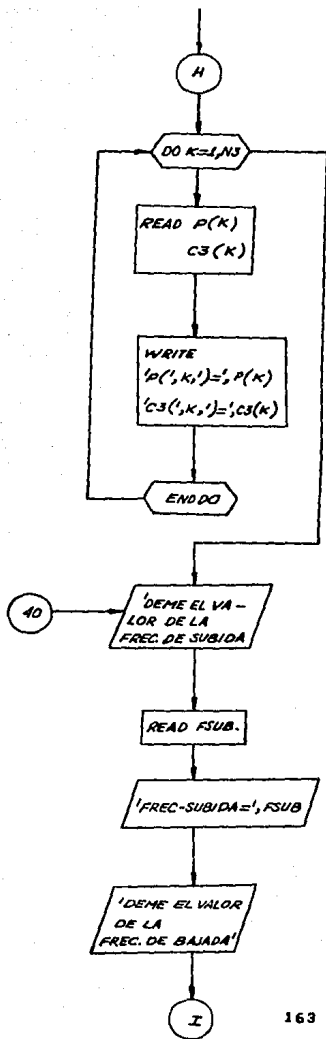


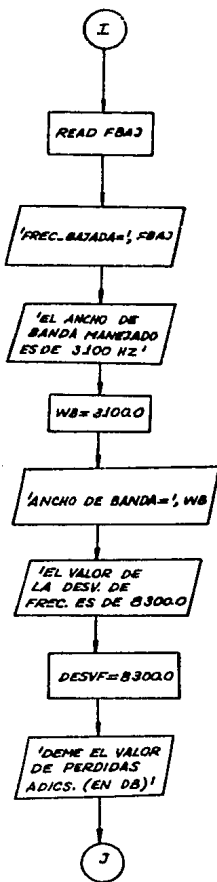


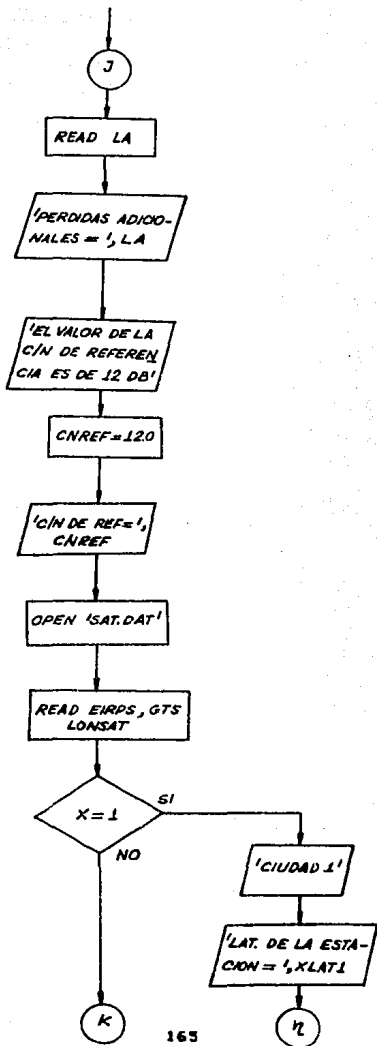


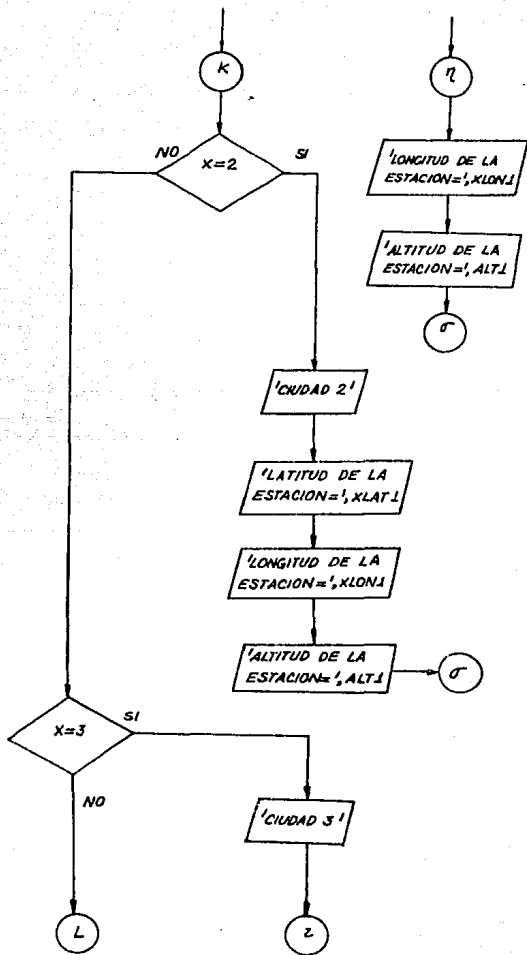


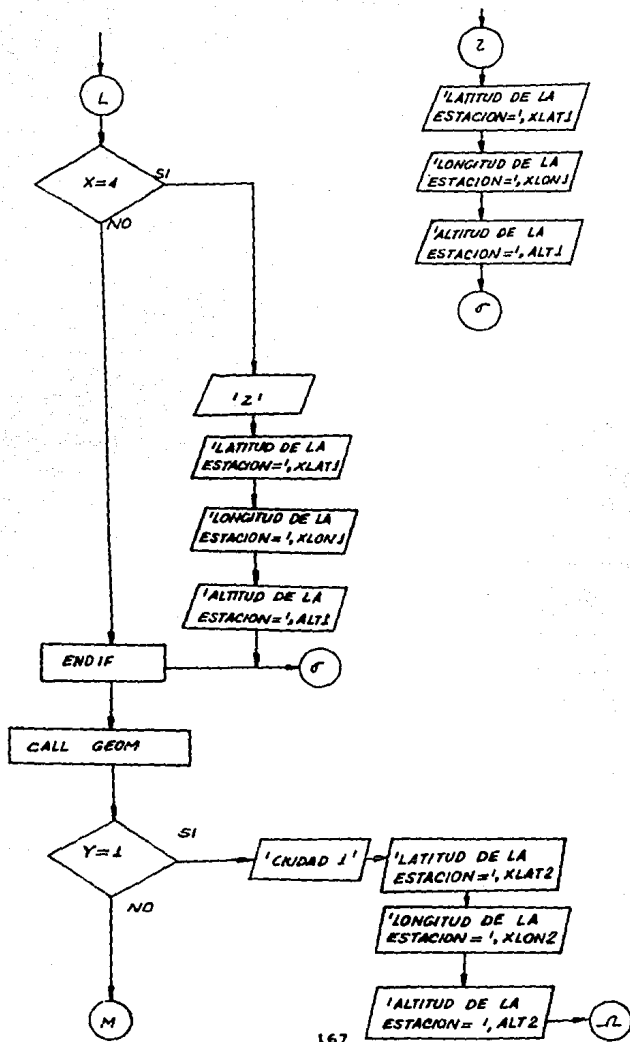


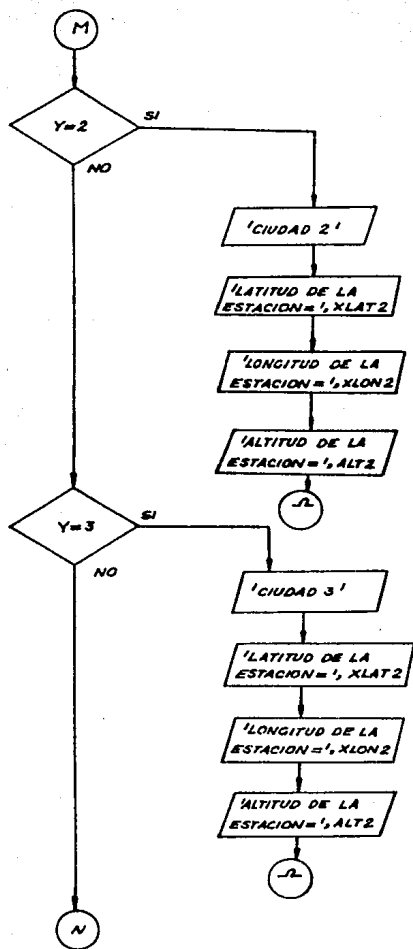


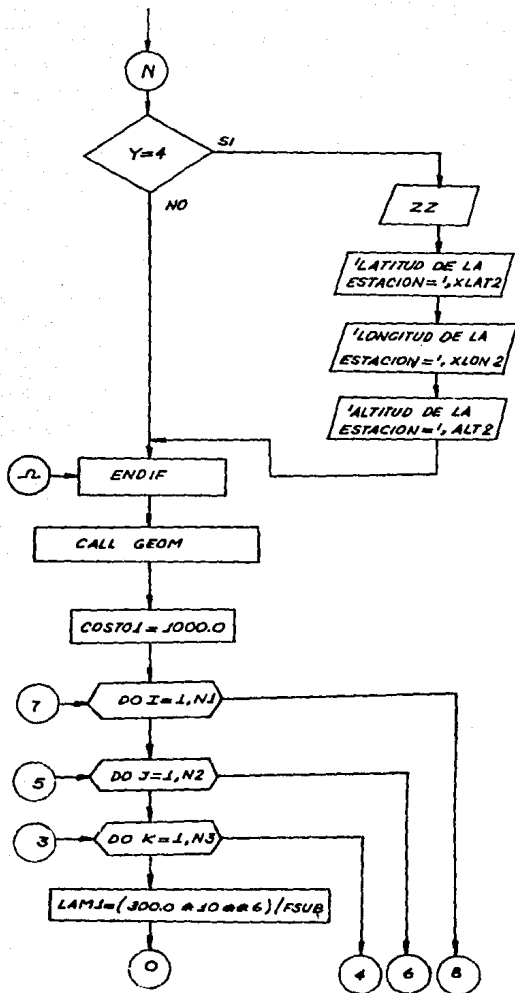


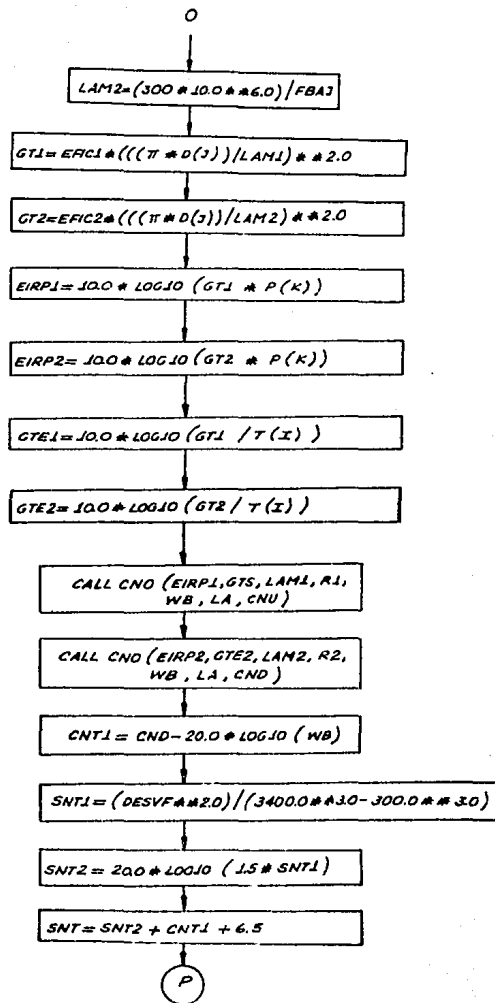


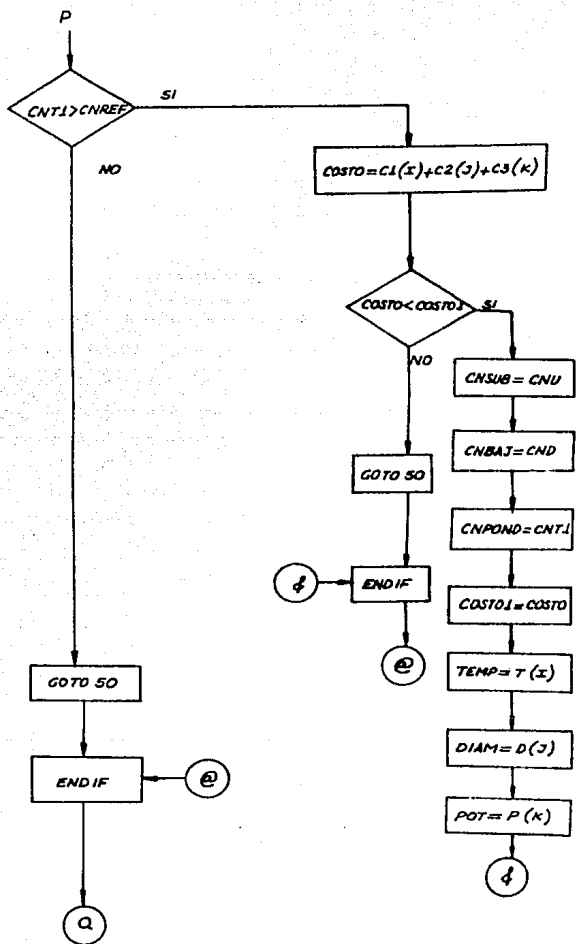


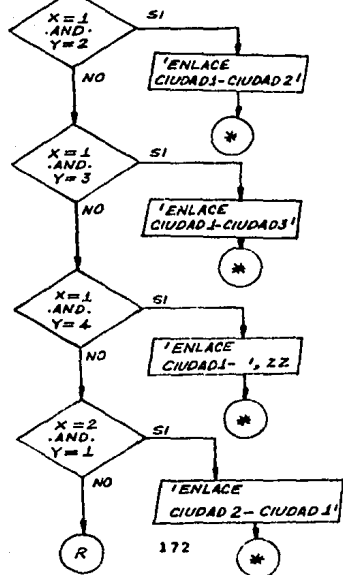
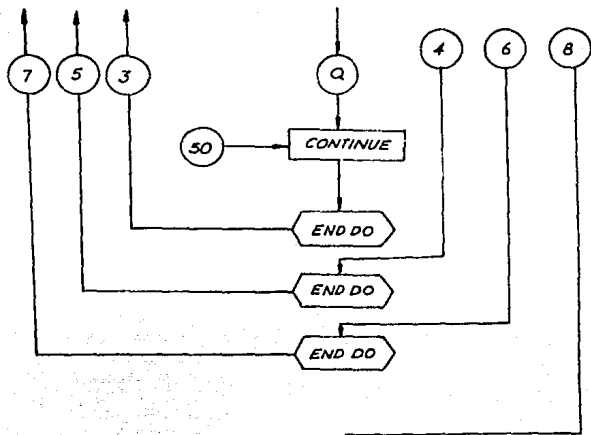


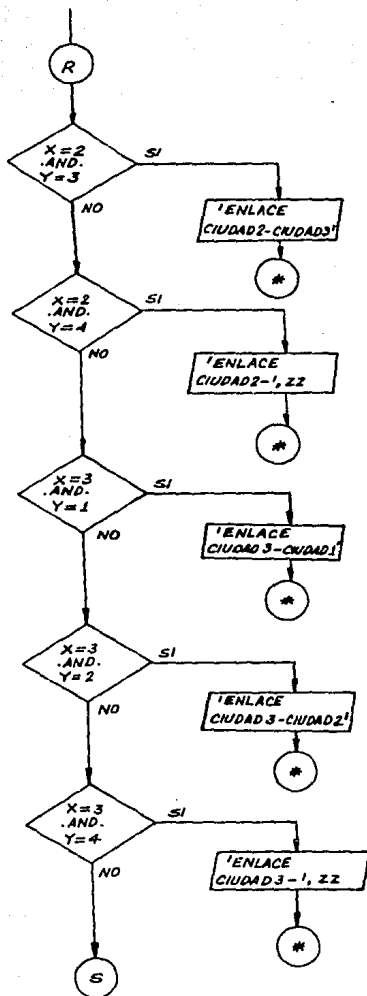


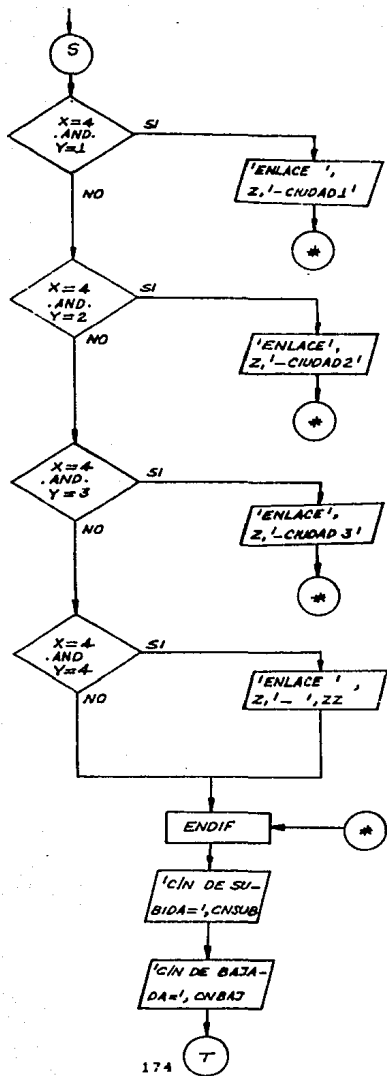


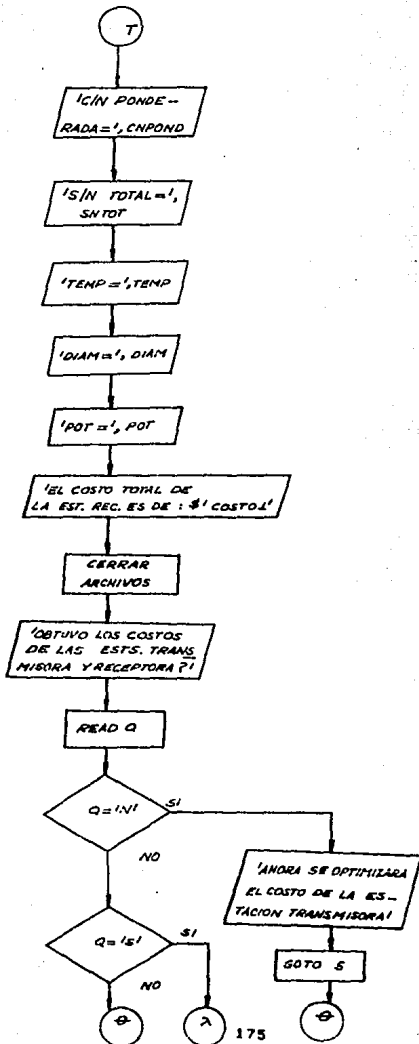


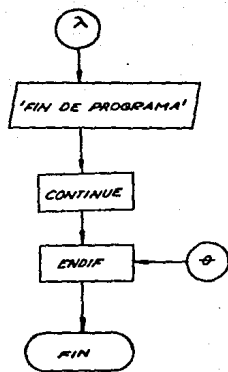


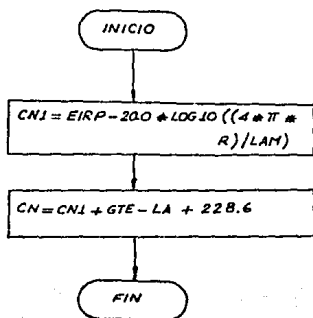


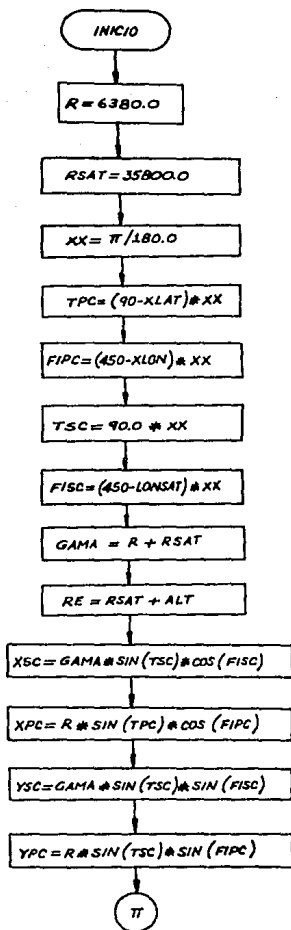


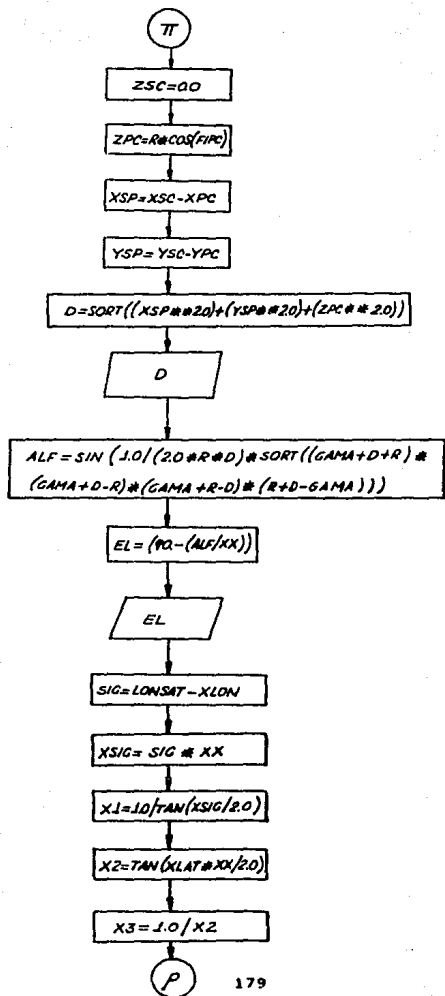


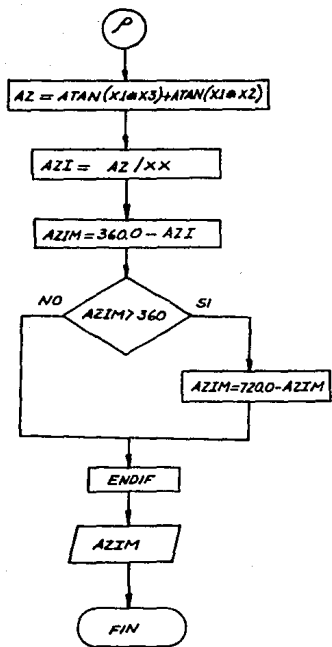












7.3 RESULTADOS DEL PROGRAMA.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos de una corrida del programa eligiendo dos localidades en particular a manera de ejemplo, con el uso de la matriz de costos actuales y en el despliegue de resultados se muestran; el posicionamiento de antenas en esas localidades, parámetros de interés del enlace (C/N de subida, C/N de bajada, S/N, etc..) y los costos óptimos de este problema ejemplo.

LA ESTACION TRANSMISORA SE ENCUENTRA EN : 1

EN CUAL DE ESTAS CIUDADES SE ENCUENTRA LA ESTACION RECEPTORA ?

(1) CD. DE MEXICO

(2) CHIHUAHUA

(3) MERIDA

(4) NINGUNA

LA ESTACION RECEPTORA SE ENCUENTRA EN : 2

DESEA HACER USO DE LAS MATRICES DE COSTOS DEL ARCHIVO ("S"/"*) ?

S = SI

ESTOS SON LOS DATOS DE COSTOS DEL ARCHIVO:

55.00	247.00
60.00	240.00
65.00	232.00
70.00	190.00
75.00	180.00
85.00	165.00
2.00	168.00
3.00	280.00
3.50	427.00
3.70	705.00
4.50	607.00
5.00	928.00
2.00	4500.00
10.00	5000.00
35.00	6000.00
50.00	7500.00
100.00	12000.00
400.00	24000.00
600.00	30000.00

DEME EL VALOR DE LA FRECUENCIA DE SUBIDA (EN HZ)

FREC_SUBIDA = 1.4000000E+10

DEME EL VALOR DE LA FRECUENCIA DE BAJADA (EN HZ)

FREC_BAJADA = 1.2000000E+10

EL ANCHO DE BANDA MANEJADO ES DE 3.1K (EN HZ)

ANCHO_DE_BANDA = 3100.000

EL VALOR DE LA DESVIACION DE FRECUENCIA ES DE 16.6K (EN HZ)

DESV_DE_FREQ = 16600.00

DEME EL VALOR POR PERDIDAS ADICIONALES (EN DB)

PERDIDAS ADICIONALES = 5.000000

EL VALOR DE LA C/N DE REFERENCIA ES DE 12.0 (EN DB)

C/N REFERENCIA = 12.00000

DISTRITO FEDERAL

LATITUD DE LA ESTACION = 19.40000
LONGITUD DE LA ESTACION = 99.10000
ALTITUD DE LA ESTACION = 2.10000

DTSTANCIA ESTACION_SATELITE = 36914.61328 KMS.
ANGULO_DE_ELEVACION = 57.50648 GRADOS
ANGULO_DE_AZIMUT = 217.09673 GRADOS

CHIHUAHUA

LATITUD DE LA ESTACION = 28.70000
LONGITUD DE LA ESTACION = 106.0000

ZACION DE C74 CON RESPECTO A LA ESTACION
RECEPTORA

CALCULO DE ENLACE

ESTAS SON LAS CIUDADES QUE SE ENCUENTRAN EN ARCHIVO

- (1) CD. DE MEXICO
- (2) CHIHUAHUA
- (3) MERIDA

EN CUAL DE ESTAS CIUDADES SE ENCUENTRA LA ESTACION TRANSMISORA ?

- (1) CD. DE MEXICO
- (2) CHIHUAHUA
- (3) MERIDA
- (4) NINGUNA

LA ESTACION TRANSMISORA SE ENCUENTRA EN : ?

EN CUAL DE ESTAS CIUDADES SE ENCUENTRA LA ESTACION RECEPTORA ?

- (1) CD. DE MEXICO
- (2) CHIHUAHUA
- (3) MERIDA
- (4) NINGUNA

LA ESTACION RECEPTORA SE ENCUENTRA EN : 1

DESEA HACER USO DE LAS MATRICES DE COSTOS DEL ARCHIVO (**/**) ?

S = SI

ESTOS SON LOS DATOS DE COSTOS DEL ARCHIVO.

55.00	247.00
60.00	240.00
65.00	232.00
70.00	190.00
75.00	180.00
85.00	165.00

2.00	164.00
3.00	280.00
3.50	427.00
4.00	705.00
4.50	1077.00
5.00	1924.00

2.00	4500.00
10.00	5000.00
35.00	6000.00
50.00	7500.00
100.00	17000.00
400.00	24000.00
600.00	30000.00

DEME EL VALOR DE LA FRECUENCIA DE SUBIDA (EN HZ)

FREC_SURTDA = 1.4000000E+10

DEME EL VALOR DE LA FRECUENCIA DE BAJADA (EN HZ)

FREC_BAJADA = 1.2000000E+10

EL ANCHO DE BANDA MANEJADO ES DE 3.1K (EN HZ)

ANCHO_DE_BANDA = 3100.000

EL VALOR DE LA DESVIACION DE FRECUENCIA ES DE 16.6K (EN HZ)

DESV_DE_FRECC = 16600.00

DEME EL VALOR POR PERDIDAS ADICIONALES (EN DB)

PERDIDAS ADICIONALES = 5.000000

EL VALOR DE LA C/N DE REFERENCIA ES DE 12.0 (EN DB)

C/N REFERENCIA = 12.00000

CHIHUAHUA

LATITUD DE LA ESTACION = 28.70000
LONGITUD DE LA ESTACION = 108.00000
ALTITUD DE LA ESTACION = 0.200000

DISTANCIA ESTACION_SATELITE =	37144.44141	KMS.
ANGULO_DE_ELEVACION =	55.16405	GRADOS
ANGULO_DE_AZIMUT =	194.73837	GRADOS

DISTRITO FEDERAL

LATITUD DE LA ESTACION =	19.40000
LONGITUD DE LA ESTACION =	99.10000
ALTITUD DE LA ESTACION =	2.100000

DISTANCIA ESTACION_SATELITE =	36914.61328	KMS.
ANGULO_DE_ELEVACION =	57.50648	GRADOS
ANGULO_DE_AZIMUT =	217.09673	GRADOS

ENLACE CHIHUAHUA - CD. DE MEXICO

C/N DE SUBIDA =	127.4733
C/N DE BAJADA =	144.0228
C/N PONDERADA =	70.19553

S/N TOTAL	=	46.91737
TEMP	=	85.00000
DIAM	=	2.000000
PBY	=	2.000000

EL COSTO TOTAL DE
LA ESTACION RECEPTORA ES DE : \$ 4833.000

YA OBTUVO LOS COSTOS DE LA ESTACION TRANSMISORA Y RECEPTORA ("S"/"N") ?

S = SI

FIN	DE	PROGRAMA
-----	----	----------

CONCLUSIONES.

A manera de hacer resaltar nuestros puntos de vista sobre el trabajo mostrado, resultado de una investigación sobre el tema tratado en la bibliografía que se mencionará posteriormente, se enlistan las principales conclusiones a las que se llegaron.

Se analizaron las diferentes posibilidades de un enlace, llegando a detectar las ventajas y desventajas de cada una de ellas, manejando un caso en particular adaptado a las condiciones del usuario y del satélite mismo.

Se hicieron estudios de la posibilidad del requerimiento de este tipo de enlaces para transmisiones de datos, y se llegó a la conclusión de que existen muchos usuarios los cuales pueden solucionar su problema de transmisión utilizando enlaces por satélite y de esta manera descongestionar la RFM de canales que no contengan voz y garantizar una tasa de bit de error mucho menor que para los sistemas terrestres que fue la de diez a la menos seis en el peor caso o de diez a la menos ocho en ciclo duplo.

Consideramos que el hecho de haber manejado los canales

en banda KU nos trae la posibilidad de vislumbrar otros problemas que no estaban presentes en banda C, como son lluvia y costos más elevados de los equipos electrónicos, y el hecho de que el Morelos cuente con esta banda nos plantea la necesidad de utilizarla óptimamente.

Este cálculo se realizó considerando el uso de un canal telefónico y de un MODEM para conectar desde cualquier parte un canal de datos, pero este enlace pueda ser válido también para micro-estaciones de dos canales los cuales serían: transmisión y recepción. Y se eliminaría el uso del MODEM que en sí representa una mayor lentitud en la transmisión, plantea la posibilidad de redes de datos vía únicamente satélites. Porque en este caso que ocupó la tesis pensamos en terminales que se encuentran bloqueadas físicamente. Al acceder de modo directo una estación y también porque pensamos en multicanalizar el canal para cierto número de usuarios.

Se logró un programa que optimiza enlaces del tipo SCPC/FDMA/QPSK, teniendo la posibilidad de modificar los costos de los elementos patrón (diámetro, temperatura y potencia) dependiendo de las fluctuaciones del mercado y las mejoras tecnológicas.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Bhargava Vijay K., Marcoun David.
Digital Communications by satellite.
USA, 1986.
- 2) CONACYT.
Revista Información Científica y Tecnológica.
Vol. 9 Num. 133.
México D.F., Octubre de 1987.
- 3) Dirección General de Telecomunicaciones.
Subdirección de Explotación de Satélites Nacionales.
Especificaciones y Recomendaciones Técnicas para Redes
Digitales Vía el SMS.
Revisión Número 4
México, D.F. Septiembre de 1986.
- 4) Espinoza Oscar
Fundamento de las Telecomunicaciones por Satélite.
Comunicaciones EXPD'83
Miami, Florida USA, 1983.

- 5) Ferguson Myron E.
The New Single-channel-per-carrier technique.
Revista California Microwave, California, USA, 1983.
- 6) Haykin Simon.
Sistemas de Comunicación.
Nueva Editorial Interamericana.
México, D.F., 1985.
- 7) Hughes Satellite Ground Systems.
Satellite Communications Products Hughes Aircraft Company
Space and Communications Group.
Los Angeles California, USA, 1978.
- 8) Hughes Network System.
Satellite Communications.
Space and Communications Group.
USA, 1983.
- 9) Gómez B. Aranda, Posaloz José Carlos.
Alternativas para un sistema de comunicaciones.
CICESE, 1983.
- 10) Gómez B. Aranda
Tesis Desarrollo de un conjunto de programas para el

cálculo de enlace para satélites de comunicaciones.
CICESE 1982.

- 11) Koga Keiichiro, Kuratani Takuro and Ogawa Akira
On Board Regenerative Repeaters Applied to Digital
Satellite Communications.
Proceedings of the IEEE,
USA, 1977.

- 12) Kuo Franklin F., Abramson Norman
Computer Communications Networks
Prentice Hall, Inc.
Englewood Cliffs N.J. USA, 1980.

- 13) N/A-COB
Integrated Satellite Business Network and the
Personal-Earth-Station.
N/A-Cob Telecommunications Inc.
San. Diego, California, USA, 1985.

- 14) Haral R. and Bousquet R.
Satellite Communications Systems.
John Wiley and Sons.
USA, 1988.

- 15) Martin James.
Telecommunications and the Computer
Prentice Hall, Inc.
Englewood Cliffs N. J.
USA, 1989
- 16) Rische Schwartz.
Transmisión de información modulación y ruido.
Mc. Graw Hill.
México D.F., 1983.
- 17) Nec Corporation.
Satellite Link Analysis.
USA, 1988.
- 18) SCT, Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo
Tecnológico.
Sistema Nacional de Satélites Morelos.
México D.F., Junio de 1985.
- 19) Pritchard, Wilbur L.
The History and Future of Commercial Satellite
Communications.
IEEE Communications Magazine.
Vol. 22, Num. 5, USA, May 1984.

- 20) Sol Lapacina.
Electronica en sistemas de comunicaci3n.
Liausa, M3xico 1988.
- 21) Staboli, Patron Raul.
Apuntes del Laboratorio de Comunicaciones.
ITAM, M3xico, D.F., 1988.
- 22) Streeter S. Ferrel.
Sistemas de Comunicaci3n.
Representaciones y servicios de ingenieria.
M3xico, D.F., 1985.