

82
2º ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMA DE COMUNICACIONES
VIA SATELITE PARA EL
CENTRO NACIONAL DE CONTROL
DE ENERGIA (CENACE) DE LA
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
VICTOR MANUEL LEMOINE GARCIA

DIRECCION DE TESIS :
ING. JESUS REYES GARCIA
ING. SALVADOR FUENTES RUIZ



MEXICO, D.F.

1992

TEJIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TEMA DE TESIS

Que, como trabajo escrito para sustentar el Examen Profesional y obtener el título de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA AREA DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA deberá desarrollar el Pasante C. VICTOR MANUEL LEMOINE GARCIA.

Director de tesis: ING. JESUS REYES GARCIA

Director adjunto: ING. SALVADOR FUENTES RUIZ

TEMA: Sistema de comunicaciones vía satélite para el CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGIA (CENACE) de la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, utilizando el sistema de satélites Nacionales.

OBJETIVOS DEL TEMA: Proporcionar un medio de comunicación confiable para la transmisión de voz y datos entre los CENTROS DE CONTROL DE AREA (CCA) del país y el CENACE.

PUNTOS A DESARROLLAR:

INTRODUCCION

I.- ANTECEDENTES

II.- ALTERNATIVAS Y SELECCION

III.- TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES

IV.- ECUACIONES Y CALCULOS

V.- RESULTADOS

VI.- CONCLUSIONES

ANEXOS

INDICE

Página

INTRODUCCION

1

CAPITULO I. ANTECEDENTES

I.1.0.	ANTECEDENTES DE C.F.E.	4
I.2.0.	ANTECEDENTES DEL CENACE.	7
I.3.0.	FUNCIONES SUSTANTIVAS DEL CENACE.	10
I.3.1.	OPERACION DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL.	10
I.3.2.	LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA.	13
I.3.3.	OBJETIVOS DE LA OPERACION.	14
I.3.3.a.	LA SEGURIDAD.	14
I.3.3.b.	LA ECONOMIA.	14
I.3.3.c.	LA CALIDAD.	15
I.3.4.	ESTRUCTURA JERARQUICA PARA LA OPERACION DEL SEN.	16
I.4.	ADMINISTRACION DE LOS ENERGETICOS PARA LA OPERACION DEL SEN.	17
I.4.1.	POLITICA.	17
I.4.2.	HERRAMIENTAS.	18
I.5.	HERRAMIENTAS PARA LA OPERACION DEL S.E.N.	19
I.5.1.	SISTEMA DE INFORMACION Y CONTROL EN TIEMPO REAL. (SICTRE).	19

I.5.1.1.	GENERALIDADES DEL SICTRE.	21
I.5.1.2.	CENTRO NACIONAL DE CONTROL (CNC).	21
I.5.1.3.	CENTROS DE CONTROL DE AREA (CCA).	24
I.5.1.4	UNIDADES TERMINALES REMOTAS (UTR).	26
I.5.1.5.	COMUNICACIONES.	28
I.6.	DEFINICION DEL PROBLEMA.	30
I.6.1.	PROBLEMA A RESOLVER.	30
I.6.2.	CONEXION CON OTROS PROBLEMAS.	33
I.6.3.	JUSTIFICACION.	34
I.6.4.	RELEVANCIA	35
I.6.5.	OBJETIVO PRECISO.	35

II. ALTERNATIVAS Y SELECCION

II.1.	ALTERNATIVAS.	36
II.1.1.	RED NACIONAL DE MICROONDAS.	36
II.1.2.	RED PROPIA DE C.F.E.	37
II.1.3.	ENLACE VIA SATELITE.	42
II.1.4.	CUADRO COMPARATIVO.	45
II.1.5.	METODO SELECCIONADO.	46
II.2.0.	COMUNICACION VIA SATELITE.	47
II.2.1.	GENERALIDADES TECNOLOGICAS DE LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE.	47
II.2.2.	PRINCIPIOS BASICOS DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE.	56
II.2.3.	EL TRANSPONDEDOR.	59
II.2.4.	ESTACIONES TERRENAS	62

III. TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES

III.1.	INTRODUCCION.	65
III.1.1.	SEÑALES DE VOZ Y DATOS.	67
III.1.1.a.	SEÑAL DE TELEFONIA. (SEÑAL DE VOZ)	67
III.1.1.b.	SEÑALES DE DATOS.	69
III.2.	CODIFICACION DE LA INFORMACION.	72
III.2.1.	MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS (PCM).	73
III.2.2.	OTROS SISTEMAS PRACTICOS DE CODIFICACION DE VOZ.	78
III.2.2.a.	MODULACION POR COD. DE PULSOS DIFERENCIAL (DPCM).	78
III.2.2.b.	ADAPTIVO DIFERENCIAL PCM (ADPCM).	82
III.3.	MULTIPLEXAJE.	83
III.4.	MODULACION DIGITAL.	87
III.5.	ACCESO MULTIPLE.	99
III.5.1.	CONSIDERACIONES DE SELECCION.	106

IV. ECUACIONES Y CALCULOS

IV.1.	INTRODUCCION.	109
IV.2.	POTENCIA DE LA SEÑAL RECIBIDA.	111
IV.3.	RUIDO TERMICO.	113
IV.4.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN FORMA GENERAL.	114
IV.5.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE.	116
IV.6.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE, PARA VARIAS PORTADORAS.	120

IV.7.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE DESCENDENTE.	123
IV.8.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE DESCENDENTE, PARA VARIAS PORTADORAS.	126
IV.9.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO DE INTERMODULACION.	128
IV.10.	RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO TOTAL DEL SISTEMA.	132
IV.11.	OPTIMIZACION DEL ENLACE TOTAL.	133
IV.12.	RELACION PORTADORA A RUIDO TOTAL.	133
IV.13.	CALCULO DE LA POTENCIA DE SALIDA DEL HPA DE LA ESTACION TERRENA TRANSMISORA.	135
IV.14.	CALCULO DE UN ENLACE. (DATOS)	137
IV.14.1.	ENLACE CENACE-CCA 8.	139
IV.14.2.	ENLACE CCA 8-CENACE.	146
IV.14.3.	ENLACE DE CANALES DE VOZ.	153

V. RESULTADOS

V.1.	INTRODUCCION.	161
V.2.	RESULTADOS CANALES DE DATOS.	163
V.3.	RESULTADOS CANALES DE VOZ.	165

VI. CONCLUSIONES

VI.1.	CONCLUSIONES.	168
-------	---------------	-----

ANEXO I

CALCULO DE LAS DISTANCIAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS AL SATELITE.	170
--	------------

ANEXO II

ANGULO DE ELEVACION.	173
-----------------------------	------------

ANEXO III

ANALISIS TECNICO - ECONOMICO.	177
--------------------------------------	------------

ANEXO IV

FIGURA DE MERITO PARA TRANSMISION DIGITAL.	181
---	------------

BIBLIOGRAFIA.	185
----------------------	------------

FIGURAS

	Página
Fig. 1.1. Estructura orgánica del CENACE.	9
Fig. 1.2. Centros de control de área.	12
Fig. 1.3. SICTRE en el CENACE.	23
Fig. 1.4. SICTRE en los CCA.	25
Fig. 1.5. Jerarquía de control.	27
Fig. 2.1. Enlace de comunicaciones por satélite.	58
Fig. 2.2. Transpondedor.	61
Fig. 2.3. Estación terrena.	64
Fig. 3.1. Técnicas de procesamiento de señales.	66
Fig. 3.2. Codificador/Decodificador PCM.	74
Fig. 3.3. Conversión de PAM a PCM.	76
Fig. 3.4. Modulación delta.	81
Fig. 3.5. Niveles de jerarquía.	85
Fig. 3.6. Señal BPSK.	91
Fig. 3.7. Pb contra Eb/No.	95
Fig. 3.8. Señal QPSK.	98
Fig. 3.9. Acceso múltiple en enlaces vía satélite.	101
Fig. 3.10. Capacidad relativa de varios sistemas de acceso múltiple.	105
Fig. 4.1. Principales elementos de un enlace vía satélite.	110
Fig. 4.2. Ilustración del concepto de DFS del transpondedor.	118

<i>Fig. 4.3. Contorno de ganancia-recepción del sist. Morelos banda "C". (canales angostos 36 Mhz.).</i>	<i>119</i>
<i>Fig. 4.4. Curva característica de transferencia.</i>	<i>121</i>
<i>Fig. 4.5. Contornos de PIRE (dbw) del sistema Morelos banda "C". para canales angostos (36 Mhz).</i>	<i>124</i>
<i>Fig. 4.6. Productos de intermodulación en el TWT del transpondedor.</i>	<i>129</i>
<i>Fig. 4.7. Portadora a ruido de intermodulación contra back-off.</i>	<i>130</i>
<i>Fig. 4.8. Portadora a ruido de intermodulación contra back-off.</i>	<i>131</i>
<i>Fig. 4.9. Punto óptimo de operación del TWT.</i>	<i>134</i>
<i>Fig. 4.10. Zonas geográficas para la aplicación de los márgenes de lluvia.</i>	<i>159</i>
<i>Fig. 4.11. G/T del sistema vs. ganancia de la antena.</i>	<i>160</i>
<i>Fig. A2.1. Sistema de coordenadas esféricas y localización geométrica de la estación terrena y del satélite</i>	<i>176</i>

TABLAS

	Página
<i>Tabla 1.1. Estado actual de las comunicaciones del CENACE.</i>	32
<i>Tabla 4.1. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.</i>	154
<i>Tabla 4.2. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.</i>	155
<i>Tabla 4.3. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.</i>	156
<i>Tabla 4.4. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.</i>	157
<i>Tabla 4.5. Margenes de lluvia en dB para las diferentes zonas geográficas y su confiabilidad.</i>	158

INTRODUCCION.

Dentro de la tesitura de crecimiento y superación de un país, es conveniente y necesario, un desarrollo congruente y paralelo de todas las ramas afines a tal propósito.

La rama de las telecomunicaciones como factor de primer orden, se ha tomado como índice real de progreso de cada nación, para reflejar el avance real del desenvolvimiento y civilización logrado.

México a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, está usando actualmente, para algunos de sus servicios el sistema de satélites Morelos.

Aprovechando estos sistemas, la Comisión Federal de Electricidad debe aprovechar esta oportunidad, para obtener a corto plazo, un sistema de comunicación confiable, a un costo atractivo.

El rápido crecimiento de las necesidades de canales de comunicación en la Comisión Federal de Electricidad aunado al congestionamiento de frecuencias radioeléctricas, controladas por la S.C.T., ha complicado la obtención mínima necesaria de canales que resuelva la coordinación y difusión de información para un control y una operación económica del servicio de energía eléctrica que ésta presta como empresa pública.

En virtud de lo anterior y siendo la Comisión Federal de Electricidad un organismo público descentralizado, que tiene por objeto organizar y dirigir un sistema Nacional de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, basado en principios Técnicos-Económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de proporcionar a un costo mínimo, un servicio continuo como el que demanda el País.

Con este espíritu la Comisión Federal de Electricidad a través de su "Centro Nacional de Control de Energía" se ha hecho responsable de que el Sistema Eléctrico Nacional opere en forma eficiente y segura, para lo cual tiene que cumplir con algunas de sus principales atribuciones como son:

- * Coordinar programas de demanda y carga, con una adecuada distribución de Energía Eléctrica.*
- * Supervisar el estado operativo de las troncales de 400 Kv.*
- * Definir esquemas de frecuencia y carga.*
- * Supervisar el suministro de combustible proporcionado por PEMEX.*
- * Análisis y elaboración de estadísticas, con respecto al crecimiento estimado de la demanda de Energía Eléctrica.*
- * Controlar el equilibrio del Sistema Eléctrico Nacional en caso de contingencias o disturbios de causa mayor.*

El Centro Nacional de Control de Energía conciente de la gran responsabilidad de manejar y operar el fluido eléctrico a nivel Nacional, - ha desarrollado el proyecto de Información y Control en Tiempo Real, (SICTRE) con objeto de cubrir la exigencia de energía eléctrica del país, que plantea a raíz de su crecimiento acelerado.

Este proyecto SICTRE tiene como finalidad principal conjuntar información de los parámetros y variables de cada central generadora y -- subestación a través de ocho Centros de Control de Área en el país; - en el mismo momento en que están sucediendo, con objeto de operar y - tomar las decisiones adecuadas en cualquier evento o falla, que se -- pueda presentar.

Es por esto que la Comisión Federal de Electricidad aprovechando las circunstancias mencionadas al principio, y con el fin de resolver las necesidades de comunicación que plantea el CENACE, debe utilizar los recursos Vía Satélite que ofrece la S.C.T., con el fin de tener otro medio de comunicación confiable en casos de disturbios o desastres - naturales, para llevar a cabo una adecuada administración y operación del Sistema Eléctrico Nacional.

I. ANTECEDENTES.

I.1.0. ANTECEDENTES DE C.F.E.

El uso de la electricidad en la República Mexicana se inició en el año de 1879, con la instalación de una central termoeléctrica en la Ciudad de León, Gto., para satisfacer las necesidades industriales de una empresa textil.

En 1881 se establece en la Ciudad de México la compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica, primera empresa dedicada a la generación y -- venta de energía eléctrica para alumbrado público, transporte urbano y uso doméstico.

El gobierno se enfrentó entonces a la necesidad de constituir una industria nacional, que llevará la energía eléctrica a la pequeña y mediana industria, al campo y en general a todos los centros de población que carecían de ella.

El 14 de Agosto de 1937 el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos General Lázaro Cárdenas del Río, expidió en la ciudad de Mérida, Yuc., la ley que creo la Comisión Federal de Electricidad, haciendo uso de las facultades que le concedió el Congreso de la Unión en materia de industria eléctrica; con el objeto de organizar un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basa-

do en principios técnico-económicos, sin propósito de lucro y con la finalidad de obtener a un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales.

En el año de 1960 el gobierno federal adquirió los bienes del grupo de empresas pertenecientes a la American and Foreign Power Company, representada por la Impulsora de Empresas Eléctricas, S.A y el 90% de las acciones comunes y preferentes de The Mexican Light and Power Co. tomando posesión de esta última el día 27 de septiembre.

Fecha que ha quedado registrada en la historia de México como el día de la nacionalización de la Industria Eléctrica.

Una vez realizada la nacionalización se imponía como una consecuencia natural de la misma, la integración de todo el Sistema Eléctrico -- Nacional.

Los avances técnicos más importantes para la integración de la Industria Eléctrica, lo constituyeron:

La unificación de frecuencia en el país a 60 ciclos, misma que se concluyó en 1976 y la interconexión del sistema nacional en 1978, esto permitió un aprovechamiento más racional de la capacidad instalada de C.F.E.

El 10 de Diciembre de 1975, con la promulgación de la ley del servicio público de energía eléctrica, La Comisión Federal de Electricidad se constituyó en la encargada única de la prestación del servicio pú-

blico de energía eléctrica; y en el artículo 9o. de la misma se define que tiene por objeto:

- I. La planeación del Sistema Eléctrico Nacional.
- II. La generación, conducción, transformación, distribución y comercialización de energía eléctrica.
- III. La realización, ejecución, operación y mantenimiento del Sistema Eléctrico Nacional.

1.2.0. ANTECEDENTES DEL CENACE.

Al expandirse los sistemas eléctricos durante el proceso de interconexiones entre centrales y áreas anteriormente aisladas, se presentó la necesidad de aprovechar racionalmente las instalaciones, a fin de garantizar el máximo rendimiento de las inversiones.

Para tal objeto se organizaron grupos de operación responsables de coordinar y ejecutar las actividades necesarias tendientes a mantener la continuidad, la calidad en el voltaje y la frecuencia, así como la economía del servicio con la máxima seguridad.

La C.F.E. basándose en principios técnicos y económicos y con el fin de integrar bajo una misma dirección y por ende administrar más eficientemente el despacho de carga utilizando metodología uniforme, a partir de 1962 funda la Oficina Nacional de Carga, como órgano coordinador responsable de las Oficinas de Operación de Sistemas de todo el país, dependiente de la Dirección General, con el objetivo fundamental de operar los sistemas en todo el territorio nacional, aplicando las medidas necesarias para mantener el suministro de energía eléctrica en forma continua, con óptima calidad, con seguridad de los sistemas y al mínimo costo de generación, dentro de las normas establecidas.

En 1977 el Despacho Nacional de Carga cambió su denominación por la de Centro Nacional de Control de Energía, quedando como órgano dependiente de la Gerencia General de Operación.

En 1980 el Centro Nacional de Control de Energía se transforma en Gerencia, dependiendo desde entonces de la subdirección de Operación, con las funciones básicas de planear, dirigir, operar y supervisar la operación del Sistema Eléctrico Nacional. Delegándosele, además, las funciones relativas a la operación de las instalaciones y equipos, - que son administrados conjuntamente con otros recursos como los energéticos, los escurrimientos hidráulicos y el personal de operación.

Ademas de coordinar y supervisar las funciones de las áreas de control.

Con el fin último de garantizar la prestación del servicio público de energía eléctrica a los usuarios con seguridad, continuidad, calidad y economía.

Actualmente el CENACE tiene la estructura orgánica que se observa en la figura 1.1.

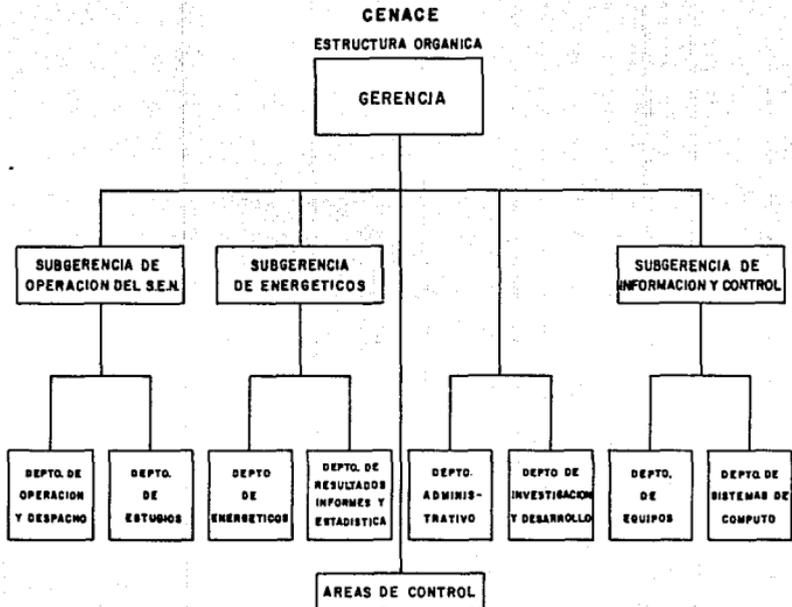


Fig.1.1 Estructura Organica del CENACE

**I.3.0.FUNCIONES SUSTANTIVAS DEL CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGIA
(CENACE)**

I.3.1. OPERACION DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

La operación de las redes mexicanas de potencia en un sistema único, ha implantado la necesidad de contar con procedimientos para la operación de las instalaciones.

El Centro Nacional de Control de Energía, es un organismo creado por la Comisión Federal de Electricidad, para dirigir la operación de las instalaciones y equipos, que son administrados conjuntamente con -- otros recursos como los energéticos, los escurrimientos hidráulicos y el personal de operación. El resultado de este proceso, es la energía entregada a los usuarios a través de los grandes centros de distribución.

Para lograr lo anterior el país se dividió en ocho áreas o regiones, cada una de ellas tiene un centro de control, a continuación se da el área y la ciudad donde se encuentra el centro de control:

<i>No.</i>	<i>Area.</i>	<i>Ciudad.</i>
1.	Central.	México.D.F.
2.	Oriental.	Puebla.
3.	Occidental.	Guadalajara.
4.	Noroeste.	Hermosillo.
5.	Norte.	Gómez-Palacio.

- | | |
|---------------------|------------|
| 6. Noreste. | Monterrey. |
| 7. Baja California. | Mexicali. |
| 8. Peninsular. | Mérida. |

En la fig. 1.2. se muestra un mapa de la República Mexicana con los centros de control, así como la región aproximada que controla.

El Centro Nacional de Control de Energía está integrado, por ocho grupos de operación regionales y un grupo director. Estos son los responsables de la supervisión y del servicio eléctrico con sus características de continuidad, calidad, economía y seguridad.

Lo anterior se atiende a través de la adecuada administración de los recursos mencionados, procurando el objetivo que mejoren esas características.

I.3.2. LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA.

El Sistema Eléctrico Nacional está formado por:

Generadores, líneas de transmisión, transformadores y la gran diversidad de equipos, propiedad de los usuarios conectados a éste.

Los criterios de planeación, diseño y selección de las plantas generadoras obedecen a diversos conceptos relacionados con la geografía y el tiempo, de los recursos aprovechables para cubrir las necesidades previstas de la demanda.

Su ubicación está prioritariamente obligada, por la disponibilidad de dichos recursos y es ajena a preferencias regionales de cualquier índole, excepto ambientales.

Las líneas de transmisión y una parte de las de subtransmisión, en conjunto con los transformadores más importantes, cubren dos funciones una corresponde al transporte de la energía, hacia los centros de distribución, y la otra también trascendental, es la de soporte y asistencia, sistemática o eventual de la generación y transmisión sometidas a la administración humana o a las contingencias imprevistas. A este conjunto se le concede el nombre de la red troncal.

I.3.3. OBJETIVOS DE LA OPERACION.

Se analizan en seguida los criterios que respaldan la estructura operativa del Sistema Eléctrico Nacional, a través de tres objetivos:

I.3.3.a. LA SEGURIDAD.

La seguridad del suministro es función de la confiabilidad de las instalaciones, pero además lo es de la supervisión y manejo racional de ellas.

La prioridad concedida a la seguridad, depende de la importancia relativa de la potencia que en cada instante se ubica concientemente en cada equipo e instalación. La generación y la red troncal, por manejar el cien por ciento de la potencia del Sistema Eléctrico Nacional deben recibir, indudablemente la atención máxima posible.

La función de la estructura operativa con relación a la seguridad,--- consiste en respetar un uso racional del equipo, vigilando que no rebase sus límites de diseño y dirigiendo las maniobras pertinentes según la prioridad reconocida, con la previsión inteligente de las --- contingencias razonablemente factibles.

I.3.3.b. LA ECONOMIA.

La economía en la operación consiste en el uso de las unidades generadoras, más adecuadas en cada momento y en la asignación y supervi---

sión racional de la potencia en ellas, según la disponibilidad, el costo y el consumo del recurso primario usado (combustible o agua).

La prioridad en la asignación y supervisión de la potencia, dependerá del efecto sobre el costo global y el marginal. Las actividades relativas a esas funciones, serán tan frecuentes y precisas como requieran los análisis de costos, agrupándose las unidades generadoras por tipo y por costo, independientemente de consideraciones regionales de cualquier índole.

I.3.3.c. LA CALIDAD.

La calidad del servicio es ofrecida al usuario en dos formas: En frecuencia y en voltaje; siendo la primera un valor cuya continua corrección, modifica la asignación de la potencia por generador. En cuanto al voltaje, su corrección depende mucho más de acciones locales, más cercanas al consumidor que en el caso de la frecuencia. Ambas variables, sin embargo, son sujetas de automatizarse sin que ello implique la desatención humana.

I.3.4. ESTRUCTURA JERARQUICA PARA LA OPERACION DEL SEN.

La estructura de organización usada para la operación de un sistema con las características descritas inicialmente para cumplir los objetivos mencionados, consiste en un sistema jerárquico con tres niveles básicos.

Un primer nivel que dirige y supervisa la generación y red troncal. La seguridad y la economía global de la operación de esas instalaciones, son los objetivos básicos atendidos a este nivel.

Un segundo nivel que supervisa a la seguridad en la ejecución de las maniobras en la transmisión y subtransmisión, además de lo delegado por el primer nivel, especialmente lo relacionado, con la calidad del voltaje en ciertos sitios claves y la supervisión de la operación del equipo dentro de sus límites.

Un tercer nivel que atiende la calidad del voltaje en sitios mas cercanos, al usuario y la seguridad en las maniobras y continuidad de la distribución, y en su caso de las líneas de subtransmisión. La supervisión de la operación racional del equipo bajo su jurisdicción, es igualmente responsabilidad de este nivel.

I.4. ADMINISTRACION DE LOS ENERGETICOS PARA LA OPERACION DEL SEN.

El mayor porcentaje de producción de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional, se obtiene a través de Centrales Termoelectricas (73 %), por lo que se hace prioritario atender el suministro de energéticos primarios, bajo normas y procedimientos que eviten crear contingencias por este concepto.

El CENACE como rector del Sistema Eléctrico Nacional y por convenir a la C.F.E., administra los energéticos que se requieran para la generación de energía eléctrica, la cual es atendida desconcentradamente en actividades operativas en las ocho Areas de Control, con la coordinación del Centro Nacional.

El Centro Nacional ha establecido normas y procedimientos que hagan eficiente la administración de los energéticos y petrolíferos, tomando fundamentalmente para ello la totalidad del proceso desde el suministro hasta el producto final (KWH).

I.4.1. POLITICA.

El CENACE pretende que los energéticos utilizados, en el proceso de generación de energía eléctrica sean suministrados con oportunidad, calidad, cantidad, medidos correctamente y transportados por los medios más convenientes, siguiendo una logística que permita minimizar los costos.

Las actividades sustantivas que realiza el CENACE, en el rubro de la administración de los energéticos: planeación, transportación, medición control de la calidad y el pago correspondiente derivado de las transacciones comerciales.

I.4.2. HERRAMIENTAS.

Hoy en día se cuenta con programación desarrollada dentro del CENACE, utilizando el sistema de tiempo compartido VAX 11/780 de C.F.E. para mecanizar los procedimientos de control de tráfico, facturación y disponibilidad de combustible en las centrales.

Asimismo, se está iniciando el proyecto llamado SISTEMA COMPUTARIZADO PARA EL CONTROL DE LOS ENERGETICOS (SICCONE), que contempla una red de micro-computadoras entre los Centros de Control de Area y el Centro Nacional, conectados con el Sistema de Tiempo Compartido VAX.

El objetivo de este proyecto es proporcionar a C.F.E., un sistema específico para la explotación de la información recolectada por cada Area y como producto final, la generación de reportes, de facturas, control de tráfico, información actualizada de los niveles de cada central, etc., que permitan a C.F.E., un conocimiento fidedigno de la utilización de los energéticos y, por lo tanto, una mejor toma de decisiones.

I.5. HERRAMIENTAS PARA LA OPERACION DEL S.E.N.

La Subgerencia de Información y Control proporciona, el apoyo técnico de las herramientas necesarias, para el buen desarrollo de las actividades operativas, resumiéndose en lo siguiente:

Administración y mantenimiento de los servicios de cómputo.

Soporte de programación.

Coordinación y mantenimiento de las comunicaciones y del equipo de teleindicación y telemedición.

Efectuar los estudios necesarios, para el equipamiento del CNC y de los CCA mediante el uso de tecnologías modernas.

Dentro del contexto de este último punto se ha llevado a cabo el desarrollo del proyecto SICTRE, es decir, del Sistema de Información y Control en Tiempo Real.

I.5.1. SISTEMA DE INFORMACION Y CONTROL EN TIEMPO REAL (SICTRE).

Este sistema nació de las necesidades de dotar tanto al CNC como a los CCA de las herramientas necesarias, para el desempeño de sus funciones, acordes con la magnitud de la dificultad de operar un sistema eléctrico en constante expansión y crecimiento y, acorde con el desarrollo moderno de la tecnología.

Previamente a la puesta en servicio del SICTRE, se contaba para la operación con sistemas aislados de telemedición y control en los CCA y en el CNC con algunas mediciones digitales y analógicas de puntos estratégicos de la red, lo que implicaba que la operación se efectuaba fundamentalmente por comunicaciones de voz a través de líneas privadas y comerciales.

Actualmente para los estudios de soporte y análisis en la operación se dispone de las siguientes facilidades:

- * Servicios de cómputo del sistema de tiempo compartido de C.F.E. (VAX-11/780).
- * Computador PRIME/550 para estudios de flujos y estabilidad, y simulaciones dinámicas fuera de línea.
- * Computador PRIME/2350 para estudios de flujos y estabilidad, y simulaciones dinámicas fuera de línea.
- * Computador HARRIS H/550 para el proceso de desarrollo y capacitación del proyecto SICTRE.

I.5.1.1. GENERALIDADES DEL SICTRE.

La concepción del SICTRE obedece a la filosofía general de operación mencionada con anterioridad.

I.5.1.2. CENTRO NACIONAL DE CONTROL (CNC).

En este nivel se concentra toda la información necesaria, para la supervisión del sistema y para ejecución en línea de la programación, - dedicada a evaluar la seguridad de la red, optimizar la generación y elaborar los reportes de la operación.

Como se aprecia en la fig. 1.3 la configuración del SICTRE del CNC., está basada en un arreglo de cuatro computadoras en dos niveles totalmente redundantes en esquema primario y respaldo.

En el nivel de más jerarquía o nivel de proceso se ejecutan los programas de aplicación avanzada, mientras que el nivel de preproceso, es responsable fundamentalmente de la comunicación con los Centros de Control de Area, y procesar la información recibida y almacenada en - la memoria compartida donde radica la base de datos en tiempo real.

Cuatro discos de 300 MB cada uno en esquema redundante, permiten el almacenamiento de la programación, base de datos maestra, así como copias periódicas de la base de datos en tiempo real.

La interacción en línea con el operador se lleva a cabo mediante cuatro consolas equipadas con dos pantallas a color dedicadas a diferentes funciones tales como: Generación, Transmisión, supervisión, etc.

Otras tres consolas equipadas, se destinan para actividades fuera de línea, como un ejemplo: estudios, entrenamiento de personal, mantenimiento de la programación y base de datos, etc.

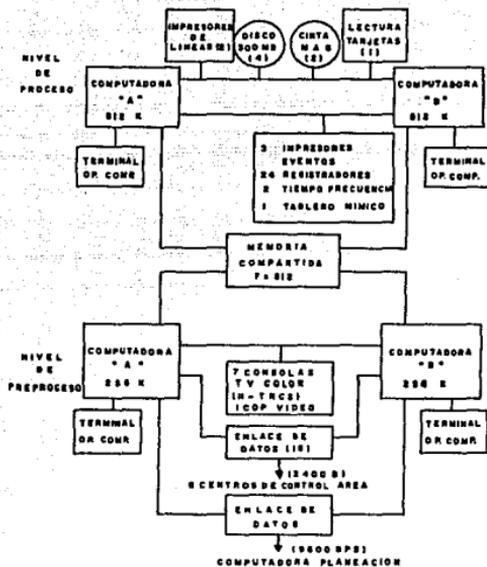
La información del operador en las pantallas se hace en su mayoría a través de diagramas unifilares con información dinámica.

Un tablero mímico con lámparas dinámicas da al operador una visión rápida del estado de la red.

En condiciones normales la lámpara estará apagada y con estaciones en problemas centellearán de acuerdo con una clave preestablecida de prioridades.

Las bitácoras del sistema proporcionarán, un reporte cronológico de todos los elementos durante la operación del sistema eléctrico.

Cabe mencionar nuevamente que el CNC. no tendrá acción de control directa sobre los dispositivos del sistema eléctrico, quedando esta función exclusivamente en los CCA.



CONFIGURACION DEL CENTRO NACIONAL

Fig. 1.3. Siste en el CENACE

1.5.1.3. CENTROS DE CONTROL DE AREA (CCA).

Los 8 Centros de Control de Area, o sea los que supervisan el Sistema Interconectado Nacional, constituyen el segundo nivel en la jerarquía de control.

Dado que los CCA son los responsables directos, de la operación del sistema eléctrico, así como de las acciones correctivas inmediatas ante condiciones anormales o de disturbio.

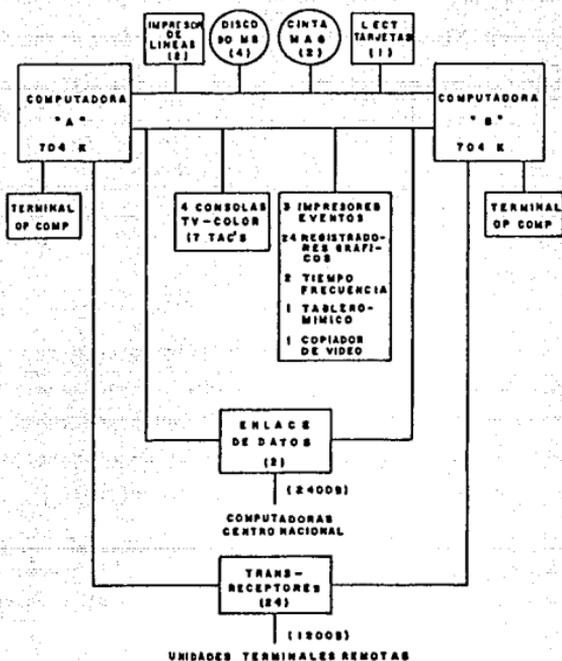
Las funciones de este nivel están orientadas, principalmente a la adquisición de datos y control, así como al proceso de control automático de la generación.

La fig. 1.4 muestra el arreglo simplificado de este nivel.

Cada CCA está equipado con dos computadoras Harris H-500 y equipo periférico en un arreglo totalmente redundante. La comunicación con las unidades terminales remotas (UTR) se efectúa a través de 24 transreceptores en un protocolo de "pregunta-respuesta".

La filosofía de interacción con el operador, es muy semejante a la descrita para el CNC debiéndose reconocer las siguientes diferencias:

- * Los CCA tienen acción sobre los dispositivos del sistema eléctrico.
- * La cantidad de consolas y equipos periféricos es más reducido.



CONFIGURACION TIPICA DE UN CENTRO DE CONTROL DE AREA

Fig. 1.4 Sictre en los CCA

I.5.1.4 UNIDADES TERMINALES REMOTAS (UTR).

El tercer nivel en la jerarquía de control está formado por las terminales remotas en subestaciones y centrales generadoras más importantes del Sistema Interconectado.

En la actualidad existen 244 UTR en barrido repartidas en los 8 CCA y que en su conjunto captan información de:

- * Mediciones (MW, MVAR, F, etc.)
- * Estados (abierto, cerrado, alarmas, etc.)
- * Controles (abrir y cerrar interruptores, subir y bajar generación, etc.)

Las UTR son del tipo "pasivo" y de construcción modular lo que simplifica su mantenimiento y futuras expansiones.

En la fig.1.5 se muestra en forma esquemática los tres niveles en la jerarquía de control.

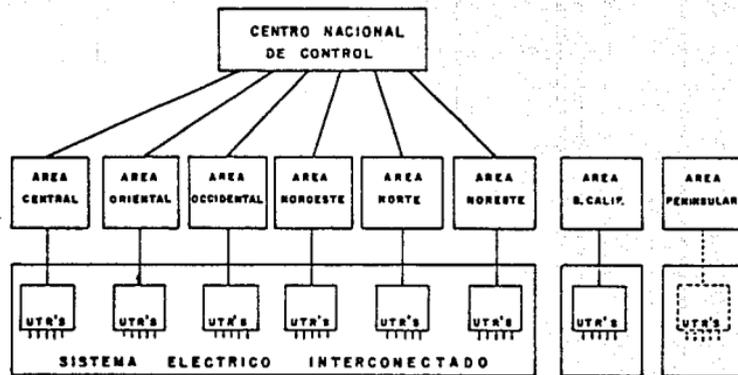


Fig.1.3 Jerarquia de control

I.5.1.5. COMUNICACIONES.

La comunicación entre el CNC y los CCA se efectuá vía enlace de datos redundantes a 2400 bps. empleando el protocolo HDLC "full duplex".

El tráfico a través de estos enlaces, consiste de la siguiente información básica:

DE LOS CCA AL CNC.

- * Mapeo de la información de la base de datos en tiempo real.*
- * Transmisión de mensajes.*
- * Pronóstico de la demanda.*
- * Disponibilidad de unidades.*
- * Estados de control.*

DEL CNC. A LOS CCA.

- * Resultados del estimador de estado.*
- * Resultados del análisis de seguridad.*
- * Resultados del despacho económico.*
- * Resultados de la coordinación hidrotérmica.*
- * Resultados de los costos de producción.*

Las UTR se comunican con sus respectivos CCA en algunas ocasiones en esquema de "línea compartida", no existiendo ningún enlace entre UTR y otro Centro de Control, por lo que toda la transmisión de informa-

ción al CNC o viceversa se efectúa exclusivamente vía los enlaces
datos CNC-CCA.

La carencia de una estructura confiable de comunicaciones en nuestro
territorio ha dado lugar a un esquema híbrido, mediante el empleo de
los siguientes soportes:

- Ondas portadoras en líneas de alta tensión.
- Líneas telefónicas.
- Radio UHF.
- Microondas.
- Fibra óptica.
- Satélites (en proyecto).

I.6. DEFINICION DEL PROBLEMA.

I.6.1. PROBLEMA A RESOLVER.

Dado que el CENACE es el responsable de que el SEN opere seguro y en forma eficiente, lo obliga a manejar un enorme volumen de información, datos y procesos, tales como:

- * Coordinar programas de demanda y carga con una adecuada distribución de energía eléctrica.
- * Supervisar el estado operativo de las troncales de 400 KV.
- * Definir esquemas de frecuencia y carga.
- * Supervisar el suministro de energéticos proporcionados por PEMEX.
- * Analizar y elaborar estadísticas con respecto al crecimiento estimado de la Energía Eléctrica.
- * Controlar el equilibrio del SEN en caso de contingencias o disturbios de causa mayor.
- * Etc.

Para lograr todo esto, el CENACE tiene que actualizar y canalizar la información de y hacia cada uno de los ocho Centros de Control de Area que se tienen en el país.

Dentro de las herramientas para la operación del SEN se encuentra el Sistema de Información y Control en Tiempo Real. (SICTRE), el cual desempeña un papel primordial en la operación del SEN.

El sistema esta compuesto, por un grupo de computadoras Harris H-507.

*Teniendose el siguiente arreglo en el CNC.

-Cuatro computadoras en dos niveles totalmente redundantes en esquema primario y de respaldo.

*Para cada uno de los CCA se tiene el siguiente arreglo.

-Dos computadoras en dos niveles totalmente redundantes en esquema primario y de respaldo.

El intercambio de información entre computadoras es básico para la operación del SEN entre esta información se tiene:

DE LOS CCA AL CNC.

- * Mapeo de la información de la base de datos en tiempo real.
- * Transmisión de mensajes.
- * Pronóstico de la demanda.
- * Disponibilidad de unidades.
- * Estados de control.

DEL CNC. A LOS CCA.

- * Resultados del estimador de estado.
- * Resultados del análisis de seguridad.
- * Resultados del despacho económico.
- * Resultados de la coordinación hidrotérmica.
- * Resultados de los costos de producción.

Lo verdaderamente importante de este sistema, es que todo el intercambio de información es en Tiempo Real (en el mismo momento en que esta pasando).

Para lograr esto se tienen dedicados dos canales de datos por área a 2400 bps. full duplex, uno para el sistema primario y otro para el de respaldo.

El sistema de comunicaciones del CENACE con cada una de las áreas se basa generalmente en:

* Tres canales de datos. (Incluyendo SICTRE).

* Tres canales de voz.

En la tabla 1.1 se muestra el estado actual y general de las comunicaciones del CENACE con cada una de las áreas.

D	Areas.=====								
A	Servicio.	1.Ce.	2.Ori.	3.Occ.	4.Noro.	5.Nor.	6.Nore.	7.Baj.	8.Pen.
T	SICTRE A	*	*	*	*	*	*		
O	SICTRE B	*	*	*	*		*		
S	MUX.	*	*	*	*	*	*	*	*

V	DIR.OPER.	*	*	*	*	*	*		*
O	TRON.REM.		*	*	*				
Z	EXT.REM.	*	*			*	*		

Tabla 1.1

De la tabla 1.1 se observa que existen Areas de Control que carecen de los servicios básicos de comunicaciones.

Aunado a que los servicios que existen con las demás Areas son de baja calidad.

Esto provoca que el SEN no se integre totalmente y únicamente se tenga el sistema que corresponde al macizo continental débilmente interconectado .

No pudiéndose aprovechar totalmente las tres ventajas primordiales de los Sistemas Eléctricos Interconectados:

- * OPERACION ECONOMICA.
- * DIVERSIDAD DE CARGAS
- * APOYO MUTUO EN EMERGENCIAS

I.6.2. CONEXION CON OTROS PROBLEMAS.

La carencia de una estructura confiable de comunicaciones en nuestro territorio, ha provocado que se tenga una serie de sistemas híbridos utilizando algunos de los siguientes soportes de comunicaciones:

- Ondas portadoras en líneas de alta tensión.
- Líneas telefónicas.
- Radio UHF.
- Microondas.

Por otra parte, la organización de los recursos cuyo objeto son las comunicaciones en C.F.E., no es producto de una planeación integral, ha tenido lugar mediante un proceso de largo plazo, en el que las dependencias con mayores necesidades, han integrado a sus estructuras diversas entidades destinadas al suministro de estos servicios.

No existe articulación formal entre entidades, o bien es insuficiente y la coordinación de sus acciones es muy difícil.

Todo esto provoca que cada enlace de comunicaciones en caso de falla, sea seccionado para su reestablecimiento, involucrando una gran cantidad de personal de diferentes dependencias, con la consecuencia que existan grandes contrastes, duplicidades, interferencias y vacíos de servicio, con lo cual los enlaces quedan fuera por mucho tiempo.

Todo esto sucede dentro y fuera de C.F.E.

I.6.3. JUSTIFICACION

El rápido crecimiento de las necesidades de comunicación de C.F.E., aunado al congestionamiento de radio frecuencias eléctricas, el elevado costo de la renta de servicios, la baja calidad de estos y una legislación cada vez mas estricta, para la autorización del uso de frecuencias, ha hecho necesario que el CENACE utilice en forma más eficiente sus sistemas de comunicaciones y busque la aplicación de nuevas técnicas de transmisión, como lo es, la fibra óptica y los -- satélites.

I.6.4. RELEVANCIA

Aprovechando las circunstancias mencionadas anteriormente, y, con el fin de resolver las necesidades de comunicaciones del CENACE, se integraría una red de buena calidad y confiable, dado que intervendría poca gente y la mayoría de la misma dependencia.

Además de que sería la primera red de comunicaciones vía satélite que abarcaría todo el país dentro de C.F.E.

La cual en caso de un siniestro como el de 1985, estaría menos afectada que los sistemas terrestres normales.

I.6.5. OBJETIVO PRECISO.

Dotar de un medio de comunicaciones de buena calidad y confiable al CENACE con cada una de las ocho Areas de Control, que se encuentran en el país con el fin de lograr una integración total del SEN.

II. ALTERNATIVAS Y SELECCION.

II.1. ALTERNATIVAS.

La necesidad de disponibilidad y confiabilidad de las comunicaciones del CENACE, con las Areas de Control de Energia, se ha incrementado - por la forma dinámica de crecimiento de los sistemas eléctricos que - se operan, dado el aumento en la cantidad de datos, parámetros y va-riables a controlar.

En la actualidad este problema se puede resolver por los siguientes - métodos:

- 1.-Red nacional de microondas.*
- 2.-Red propia de C.F.E.*
- 3.-Enlace vía satélite.*

II.1.1. RED NACIONAL DE MICROONDAS.

Esta red esta siendo actualmente utilizada, para comunicar el CENACE con las Areas de Control.

Resolviendo teóricamente las necesidades de comunicación, pero en la realidad esta red presenta bastantes problemas, dado que estos cir--cuitos, involucran circuitos de TELMEX y de la S.C.T., con lo cual se tienen varios puntos de interconexión, lo cual al producirse una --

falla en alguno de los enlaces existentes, toma bastante tiempo el -
lograr su reestablecimiento normal.

Por ejemplo en caso de una falla de cualquiera de los enlaces se pro-
cederá a checar localmente, dentro de las instalaciones del edificio,
si la falla no se encuentra dentro del edificio, se reporta a micro-
ondas con lo cual se involucra mas gente de diferentes dependencias.

Si se reporta hacia la red de TELMEX la única atención, es recibir un
número de reporte, el cuál es prácticamante atendido el próximo día, si
el reporte es hacia la S.C.T., la atención es inmediata, lo cual es -
una gran ventaja pero dado la saturación de esta red, la calidad de -
los canales integrados al CENACE dejan mucho que desear, ya que cuan-
do no estan ruidosos, esta fuera la ruta hacia la otra ciudad por -
falla de algún repetidor.

Esto es un gran problema ya que los servicios de voz y datos entre el
CENACE y las Areas de Control se requieren las 24 hrs. y los 365 días
del año.

Actualmente se están integrando las redes de S.C.T. y TELMEX, pero -
con esto no se corregirán las deficiencias que por años se han tenido
en ambas redes, que son la red troncal de comunicaciones del país.

II.1.2. RED PROPIA DE C.F.E.

Debido al rápido crecimiento en las necesidades de comunicaciones, en
la Comisión Federal de Electricidad se ha integrado una red, que por

su importancia y complejidad figura, entre las cuatro más grandes del país, conjuntamente con las redes públicas de la S.C.T., y de Teléfonos de México, y la red privada propiedad de Petróleos Mexicanos.

Los componentes principales de dicha red de comunicaciones son los siguientes:

- * Los sistemas de microondas que en conjunto están integrados, por 282 estaciones y cuya capacidad total es de 3072 canales telefónicos.
- * Un sistema de radiocomunicación simplex en las bandas de MAF y de UAF FM, constituido por 14610 estaciones, entre bases, repetidoras móviles y portátiles. Considerando que se cuenta, además con 1553 receptores radiolocalizadores, el total de equipos de este tipo es de 16613.
- * Un sistema de radiocomunicación por alta frecuencia (onda corta), que consta de 113 estaciones, que se utiliza principalmente, para mantener contacto con las brigadas topográficas, sismológicas, geológicas y oceanográficas.
- * Un sistema de onda portadora a través de líneas de alta tensión. (OPLAT) que consta de 696 enlaces, con capacidad total para 1694 canales telefónicos.

- * Un sistema de comunicaciones a base de fibras ópticas, que tiene 21 enlaces, para teleprotección, transmisión de datos y servicios telefónicos. Estos sistemas cubren una distancia integrada de 65 kilómetros y su capacidad total es de 113 canales telefónicos.
- * Canales telefónicos de larga distancia obtenidos de S.C.T. y de Teléfonos de México, sobre la base de arrendamiento en total 467.
- * 361 centrales telefónicas con capacidad total de 9112 extensiones y 904 troncales urbanas.
- * 2967 líneas telefónicas directas y 782 líneas telefónicas troncales de TELMEX para el enlace de los conmutadores de C.F.E., con redes telefónicas de áreas urbanas.
- * 129 terminales de facsímil. Probablemente algunas adicionales sobre las que no se obtuvo información, dado que en la mayoría de los casos, estos equipos están bajo el control exclusivo de las dependencias usuarias.
- * 93 abonados a la red nacional de télex.
- * 135 enlaces para transmisión de datos a base de canales dedicados.
- * Una red de área local (LAN) a base de fibras ópticas para la transmisión de datos a una velocidad de 10 Mbps., entre los centros de cómputo ubicados en Ródano No. 14 y Río Mississippi No. 71

en el área metropolitana.

Los sistemas establecidos representan una inversión total del orden de los 615,000 millones de pesos.

Por otra parte, la organización de los recursos cuyo objeto son las comunicaciones en C.F.E., no es producto de una planeación integral; ha tenido lugar mediante un proceso de largo plazo, en el que las dependencias con mayores necesidades, han integrado a sus estructuras, diversas entidades destinadas al suministro de estos servicios.

Es así que en el organigrama general de C.F.E. aparece un conjunto de unidades de telecomunicaciones, generalmente a partir del 6o. nivel jerárquico, y numericamente pequeñas, si se exceptúan las correspondientes a la Gerencia de Generación y Transmisión (560 plazas), a la Gerencia Administrativa (53 plazas), la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde (39 plazas), y la División de Distribución Sureste (26 plazas). En total 752 plazas están destinadas a los servicios de telecomunicaciones.

No existe articulación formal entre dichas entidades, o bien es insuficiente y la coordinación de sus acciones es muy difícil.

En muchos conceptos los resultados son satisfactorios, sobre todo ---, cuando se trata de necesidades regionales y necesidades de dependencias específicas; pero también hay grandes contrastes, duplicidades, interferencias y vacíos de servicios; se observa, sobre todo la falta

de elementos integradores a nivel general.

Si se lograra una integración a nivel nacional, se tendría una infraestructura que con el tiempo reeditaría cualquier inversión que se realizará en esta rama.

A la luz de las consideraciones anteriores, resulta muy justificado - que dentro del programa de revisión de la organización de C.F.E., las altas autoridades de la Institución, hayan concedido especial importancia a los servicios de telecomunicaciones e integrado un grupo de estudio, con objeto realizar un diagnóstico y presentar proposiciones concretas para el mejoramiento de dichos servicios.

La implementación de estas proposiciones a nivel nacional, tardarían mucho tiempo, ya que se tendría que pasar inclusive por la Secretaría de Programación y Presupuesto, debido al incremento que se tendría en la infraestructura de comunicaciones.

De todo lo anterior se desprende que esta es una solución que conviene, sin embargo es a muy largo plazo, pero para esto se tiene que - continuar trabajando en el diagnóstico y en brindar propuestas técnicas adecuadas.

II.1.3. ENLACE VIA SATELITE.

La sin igual capacidad de los satélites de comunicaciones, para cubrir la tierra, ha abierto una nueva era para las comunicaciones regionales e internacionales.

Estos sistemas usando un "solo" satélite ofrecen la "facilidad" de interconectar cualquier par de usuarios, separados por grandes distancias, además de proporcionar comunicaciones punto-multipunto independiente de la distancia, dentro de coberturas muy extensas. Esta sin igual facilidad incluye enlaces de comunicaciones entre satélites y:

- * Puntos fijos en la tierra.
- * Naves marítimas.
- * Aviones.
- * Trenes.
- * Automóviles.
- * Otros vehículos en movimiento.

No hay otro sistema de comunicaciones, que pueda brindar este tipo de facilidades.

Los costos de comunicaciones vía satélite son esencialmente insensibles a la distancia entre terminales, mientras que los costos de servicios terrestres (no satélites) si dependen de la distancia.

Algunas de las variadas formas de datos y servicios, que pueden ser -
suministradas por enlaces vía satélite son:

- * Telefonía.
- * Televisión.
- * Comunicación entre computadoras.
- * Teleimpresión.
- * Teleconferencia.
- * Educación interactiva.
- * Correo electrónico.
- * Datos de control para sistemas de potencia.
- * Servicios de emergencia médica.
- * Información de tráfico.
- * Información de tiempo.
- * Datos de navegación para barcos y aviones.
- * Datos para estrategia militar.
- * Etc.

Esta lista no esta completa y cada año que pasa, hay nuevas actividades y nuevos requerimientos, que son creados y los cuales utilizan -
los satélites de comunicaciones.

La flexibilidad de acceso múltiple al satélite desde puntos lejanos,
ofrece mucha confianza y además buenas soluciones costo-eficiencia, -
en regiones geográficas muy escabrosas como el de nuestro país.

La comunicación vía satélite ha provado ser muy útil dando una alta -

calidad en sus enlaces. En vista de la poca fiabilidad experimentada con las redes públicas, se ha desarrollado como un método alternativo de comunicación.

Los enlaces vía satélite se han vuelto particularmente interesantes, como una fuente de respaldo, en caso de desastres terrestres por --- ejemplo terremotos, dada su posición geoestacionaria en el espacio.

II.1.4. CUADRO COMPARATIVO.

Cuadro comparativo de los tres métodos por los que se puede resolver el problema de dotar de un medio confiable de comunicación al CENACE.

Metodo.	* Ventaja.	* Desventaja.

Red Nal. de microondas.	* Ya esta en servicio.	* Saturación.
		* Calidad media.
		* Muchos puntos de -interconexion.

Red propia de C.F.E.	* Unicamente usuarios - de C.F.E.	* Costo elevado de -implementación.
	* Mejor calidad.	* Tiempo de organi - zación e imple -
	* Más disponibilidad.	mentación muy -- -impredecible.

Red vía satélite.	* Más disponibilidad.	* Tiempo largo de -
	* Mejor calidad.	propagación.
	* Pocos puntos de in - terconexión.	aprox. 600 ms.
	* Acceso desde cual - quier punto del - pais.	
	* Cobertura Nacional.	
	* Bajo mantenimiento.	

II.1.5. METODO SELECCIONADO.

Del cuadro comparativo, de los comentarios en los incisos anteriores, se observa que la solución más adecuada, sería que se utilizara una red propia de C.F.E., pero debido a que no existe un tiempo preciso para que se implemente, a nivel nacional, por el momento queda descartada. Y dadas las desventajas de la red de microondas en el país. Se opta por la red vía satélite, ya que su implementación es, en poco tiempo, tiene una cobertura nacional y el acceso al satélite se puede realizar desde cualquier punto del país.

En la siguiente sección se describirá más ampliamente en que consiste este método.

II.2.0. COMUNICACION VIA SATELITE.

II.2.1. GENERALIDADES TECNOLOGICAS DE LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE.

La comunicación Vía Satélite es otro medio de establecer un enlace de comunicación, que permite el intercambio de información con "Línea de Vista", entre puntos de la superficie terrestre separados por miles de kilómetros.

Por lo general, los satélites de comunicaciones modernos, operan en la órbita geostacionaria. Son dispositivos que se encuentran orbitando la tierra a una distancia aproximada de 36 mil km., sobre el ecuador.

A diferencia de sus predecesores en el ámbito experimental, como el TELSTAR y el RELAY que viajaban alrededor de la tierra, a una relativa baja altura, en pocas horas. El TELSTAR lo hacía en solo 2.38 horas lo que significaba, que la estación de rastreo lo "observaba" por solo un breve período de tiempo.

A 36 mil km. tardara 24 horas en completar una vuelta, que es el tiempo que tarda la tierra en girar sobre su propio eje, a menor altura, menor tiempo de duración.

El satélite natural de la tierra, completa un ciclo alrededor de esta en un mes, es claro que un satélite ubicado en la órbita geostacionaria, gira con la misma velocidad angular que la tierra, por lo que se considera como un punto fijo con respecto a esta.

Ese movimiento del satélite, se produce por las fuerzas gravitacionales que ejercen los cuerpos en el universo, particularmente del sol, la tierra, y la luna, esto significa que su rotación alrededor de la tierra, se produce en forma natural, sin que sea necesario, el uso de motores o propulsores del propio satélite, no obstante, dentro de su posición fija con respecto a la tierra, el satélite sufre pequeñas variaciones en diferentes direcciones, ocasionadas por fenómenos físicos y gravitacionales, producidos por el sol, la luna y la propia tierra, las cuales se deben de corregir continuamente desde un centro de control, para este caso, cada vez que se realiza el ajuste de su posición orbital, se consume cierta cantidad de combustible que lleva en sus tanques, al accionar sus propulsores.

Esto es lo que determina la vida útil de los satélites; no es propiamente la vida de los dispositivos electrónicos, sino que al terminarse el combustible, ya no es posible desplazar a los satélites para mantenerlos en su órbita operativa, alejándose de esta para convertirse en chatarra espacial.

La energía eléctrica que alimenta al satélite, se produce de la conversión que realizan las celdas solares que esta lleva, al ser iluminadas por el sol.

Se han venido utilizando celdas de Silicio, pero recientemente se presenta la oportunidad de utilizar celdas de Arsenio-Galio, material que permite mayor eficiencia en la producción de energía eléctrica.

Existen épocas del año, en las que se interpone la tierra entre el sol y el satélite, por lo que en estas épocas de eclipse, el satélite

se alimenta, a través de las baterías que lleva a bordo.

Tradicionalmente el material utilizado en las celdas de las baterías, ha sido de Niquel-Cadmio, sin embargo el Niquel-Hidrógeno, ofrece mayores posibilidades de almacenamiento.

El satélite también cuenta, con un subsistema de antenas para recibir las señales desde la tierra, entregarlas a los transpondedores y retransmitirlas hacia la tierra

Las antenas han ido evolucionando con el tiempo, inicialmente se tenían antenas de cobertura global, pero gradualmente se fueron rediseñando, para que la energía incidiese de mejor forma sobre ciertas -- zonas geográficas, para no desperdiciar energía en zonas donde no se requiere.

El área de vista de un satélite en esa órbita, es aproximadamente un tercio del globo terráqueo, pero su cobertura de radiación electro--- magnética, dependerá de la configuración de su subsistema de antenas.

Por ejemplo, los satélites mexicanos se encuentran estacionados en el Ecuador sobre el Océano Pacífico a la altura de Baja California, pero están diseñados para cubrir el territorio mexicano.

En cambio, los satélites internacionales del consorcio INTELSAT, se - ubican sobre los océanos Atlántico, Pacífico e Indico, en el Ecuador teniendo coberturas hemisféricas, zonales y pincel sobre la esfera - terrestre.

Desde el punto de vista de telecomunicaciones, la parte más importante de un satélite, es la de los transpondedores o canales.

Un transpondedor es un conjunto de dispositivos electrónicos (amplificadores, guías de onda, filtros, cables, etc.) cuya función primordial es recibir una señal de telecomunicaciones, cambiarle la frecuencia y retransmitirla a la tierra a través de las antenas del satélite.

Hasta la fecha se ha venido utilizando como amplificadores, los tubos de onda progresiva (TWT), sin embargo, se espera que los amplificadores de estado sólido ofrezcan un mayor período de vida y mejor rentabilidad que los TWT's.

La Unión internacional de telecomunicaciones, ha asignado ciertas -- bandas de frecuencia para los servicios fijos de satélites; se tiene la banda de frecuencia C (4 y 6 Ghz.), y la banda Ku (12 y 14 Ghz.), que se utilizan actualmente, y la banda Ka (20 y 30 Ghz.), que será utilizada en muy pocos años.

En la banda C y en la banda Ku, existen 500 Mhz. de ancho de banda -- aprovechable; 500 Mhz., en cada banda que pueden ser distribuidos de diferentes formas, teniéndose cierta libertad en el diseño de un satélite. Estos 500 Mhz. se utilizan para tener 12 transpondedores de 36 Mhz. o 6 de 72 Mhz. o alguna otra distribución o combinación que se requiera, por ejemplo:

Los satélites Brasileños tienen una capacidad de 24 transpondedores -- de 36 Mhz. de ancho de banda.

Los satélites Canadienses ANIKE tienen 16 transpondedores de ancho de banda de 54 Mhz.

Los satélites norteamericanos GALAXY tienen 24 transpondedores de 36 Mhz.

Los satélites mexicanos MORELOS tienen una capacidad de 22 transpondedores, de los cuales 12 son de 36Mhz., 6 de 72 Mhz. y 4 de 108 Mhz. Por mencionar solo algunos ejemplos de los satélites que hay en el mundo.

Únicamente hay 500 Mhz. asignados en cada banda (C y Ku), aunque gracias a la reutilización de frecuencias, el número de Hertz efectivamente aprovechables se ha multiplicado, por ejemplo:

El caso de los satélites Morelos I y II se tienen 500 Mhz., asignados en la banda C pero se operan en dos polarizaciones; polarización vertical y polarización horizontal. Se están aprovechando 500 Mhz., en una polarización y 500 Mhz., en la otra, de tal forma que realmente se tienen 1000 Mhz. aprovechables únicamente en la banda C, además otros 500 Mhz., en la banda Ku en donde exclusivamente, se opera con una sola polarización aunque podrían utilizarse también dos polarizaciones.

En un transpondedor de 36 Mhz., de ancho de banda se puede transmitir un canal analógico de televisión o bien 1200 canales telefónicos multiplexados en forma analógica o el equivalente a una señal digital de 20 Mbps. (20 millones de bits por segundo).

La tecnología de los transpondedores entonces ha ido creciendo, ha --

ido mejorando, no solamente en cuestión de ancho de banda, si no también en la parte de potencia; cada vez se cuenta con transpondedores más eficaces, porque contienen amplificadores de mayor potencia; más watts representa más intensidad de la señal recibida en tierra, y esto también significa, dimensiones más pequeñas de los platos parabólicos que van a captar esas señales, de ahí ha surgido la tecnología del DBS o radiodifusión directa por satélite.

Los satélites que reciben este nombre de DBS, tiene una potencia isotrópica radiada efectiva mayor de 50 dBW; los satélites Morelos cuentan con un poco menos, que esto y no pueden ser considerados como satélites de DBS. Se habla de amplificadores del orden de 200 a 250 W, que ya es una cantidad respetable para estos satélites. Las antenas, entonces, en conjunto con los transpondedores, han representado una parte importante, en el aprovechamiento de los recursos del espectro y de la potencia.

Existen otros subsistemas en los satélites, que también son importantes como el de control, cuya función primordial es el de mantener -- adecuadamente operativo al satélite en órbita, a través del centro de control.

El satélite además cuenta con un subsistema térmico, para mantener a temperatura adecuada la electrónica que lleva a bordo.

Los lanzamientos de los satélites, también son variados. Las facilidades de lanzadores son diversas, hay varios países que actualmente

cuentan con la tecnología para lanzar artefactos al espacio; como es el caso de Estados Unidos, que con la NASA y otras empresas privadas colocan todo tipo de objetos en el espacio. De igual forma la Unión - Soviética. La agencia espacial europea, que con su lanzador "ARIANE" desde Kourou, en la Guyana Francesa, ha lanzado con gran éxito varios satélites de comunicaciones.

No podemos dejar de mencionar que China, se está convirtiendo en una potencia mundial en el lanzamiento de satélites.

En un sistema de comunicaciones por satélite, además del segmento espacial (satélite) se tiene el segmento terrestre, el cual esta -- constituido, por una gran variedad de estaciones terrenas dependiendo de las necesidades particulares de cada usuario. Hay estaciones para recibir video, voz y datos. Dependiendo de la aplicación, capacidad y satélite utilizado sera el tamaño de la antena y sus componentes.

Por lo general, una estación terrena transmisora-receptora, está -- constituida por la antena, el amplificador de bajo ruido, el amplificador de potencia, las cadenas ascendentes y descendentes, el modem, el multiplexor y el equipo de banda base.

De acuerdo a las necesidades en particular se tendra equipo adicional como un sistema automático de compensación de potencia o un sistema - automático de rastreo, sin perder de vista el sistema de energía no - interrumpible.

El diámetro de las antenas puede variar desde, 0.6 mts., únicamente -

para recepción, hasta 32 mts., para aplicaciones con satélites internacionales.

En el rango de 1.2 y 2.4 mts., se tienen las antenas VSAT'S (Very -- Small Aperture Terminals), para redes digitales de voz, datos y -- video

La configuración de una red de estaciones terrenas y la técnica de -- acceso, a los transpondedores del satélite, depende principalmente -- del número de estaciones terrenas y la capacidad de tráfico en cada una de ellas, así como de la interconectividad que se desee establecer en la red, por ejemplo:

Para una red tipo estrella de cientos de estaciones terrenas, cada -- una con baja capacidad de tráfico de datos (hasta 64 Kbps) la mejor opción, es el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en su modalidad TDM/TDMA.

En esta modalidad, una estación terrena maestra realiza el control en el acceso del total de estaciones terrenas (Remotas), de tal forma, que un determinado grupo de estaciones remotas, comparten una misma señal (portadora), en diferentes intervalos de tiempo.

En otro ejemplo, si se desea conectar un número reducido de estaciones terrenas, digamos 15 estaciones con velocidades de 64 kbps. (voz y datos), la mejor opción es la técnica de un solo canal por portadora, de las siglas en inglés SCPC (Single Channel Per Carrier).

En esta modalidad cada estación terrena, tiene asignado una portadora de tal forma, que el número de estaciones terrenas es igual al número de portadoras.

Existen otras formas de acceder al satélite, que son seleccionadas - dependiendo de las necesidades que se tengan en particular.

II.2.2. PRINCIPIOS BASICOS DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE.

La figura 2.1 ilustra los principales elementos que constituyen, un enlace de comunicaciones por satélite. Además del satélite o segmento espacial y de las estaciones terrenas o segmento terrestre, y desde el punto de vista de diseño del enlace, se cuenta con el canal de propagación, del cual dependerá la calidad total del enlace.

Esta calidad se presenta por la relación, que existe entre la potencia de la señal portadora recibida (C), y la potencia del ruido en el receptor (N). Esta relación sera C/N .

La relación C/N depende de varios factores tales como:

- * La potencia de transmisión.
- * El diámetro de las antenas.
- * La frecuencia de operación de transmisión.
- * El ancho de banda y características de operación de los transpondedores.

El cálculo del enlace permite visualizar la optimización de las diferentes variables, como la potencia y el diámetro de las antenas terrenas y la calidad total del enlace.

Para el enlace ascendente, la relación $(C/N)_a$, dependerá de la potencia de la estación terrena transmisora, de la ganancia de la antena y temperatura de ruido en el satélite y de las pérdidas por atenuación

en el espacio libre.

La relación portadora a ruido de intermodulación $(C/N)_i$, dependerá de los productos de intermodulación producidos por la no linealidad de los amplificadores del satélite, para lo cual, se deberán operar en puntos óptimos que permitan reducir al máximo dicho ruido de intermodulación.

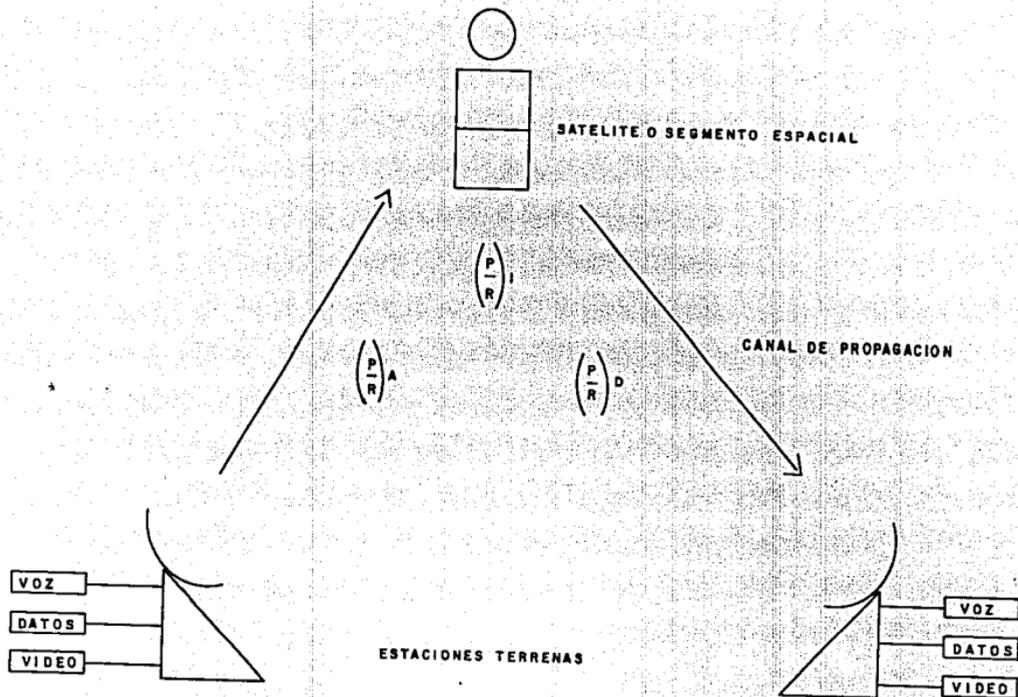
La relación para el enlace descendente $(C/N)_d$, está en función de la potencia y de la ganancia de la antena del satélite, de la temperatura de ruido de la estación terrena, así como de la atenuación en el espacio libre en la trayectoria descendente.

El valor óptimo de la relación total $(C/N)_t$, será aquel con el cual se cumplen los valores de la relación C/N requerida, los cuales dependerán de la tasa de errores (índice de bits erróneos), a la que opera el Modem de la estación terrena.

Los efectos de interferencia producidos por otros satélites o por enlaces terrestres, deberán también de considerarse, por una relación portadora a ruido de interferencia.

Para poder establecer un enlace, adicionalmente al canal de propagación se requieren de los elementos fundamentales:

El transpondedor o repartidor del satélite y de las estaciones terrenas, de los cuales se presenta una discusión general a continuación.



ENLACE DE COMUNICACIONES POR SATELITE

Fig.2.1

11.2.3. EL TRANSPONDEDOR.

El objetivo del transponedor es recibir la señal a través de la antena del satélite, cambiar la frecuencia y amplificarla, para volverla a transmitir a través de la antena (fig. 2.2).

La señal recibida en la antena pasa a un diplexor para separarla de las frecuencias de la señal transmitida. Posteriormente, se filtra y amplifica para eliminar tanto ruido como sea posible.

Con la señal de oscilador local, la señal recibida se multiplica para trasladar la frecuencia, y finalmente amplificarla para entregarla al diplexor, y, éste a la antena con el objeto de que nuevamente se retransmita a tierra.

En las bandas de frecuencia C y Ku se tienen 500 MHz de ancho de banda que pueden utilizarse, para agrupar doce transponedores de 36 MHz o cuatro de 108 MHz.

Con el uso de polarización cruzada o reuso de frecuencia, se pueden tener otros 500 MHz., tanto en la banda C, como en la banda Ku, además del ancho de banda disponible, cada vez se tiene mayor potencia en los transponedores, lo que permite utilizar antenas de menor diámetro.

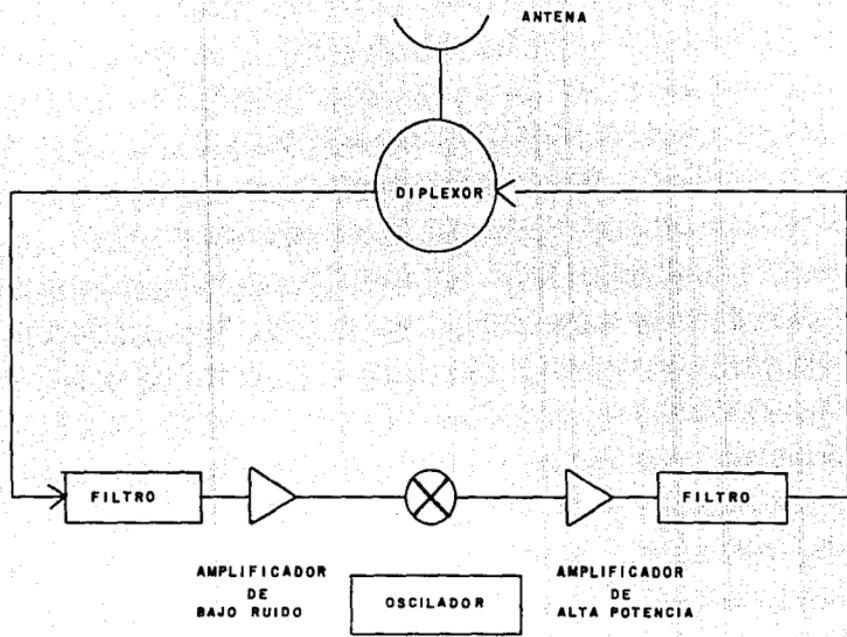
Tradicionalmente se han utilizado como amplificadores, tubos de onda progresiva (TOP'S), pero se espera que los amplificadores de estado sólido (AES), basados en transistores de efecto de campo de arsenio-galio, proporcionen mejores condiciones de seguridad, con mayor tiempo de vida.

La significativamente mayor eficiencia de los TOP'S, se ve compensada por la superior linealidad de los AES'S.

Un transpondedor puede utilizarse, para transmitir una señal de televisión, cientos de canales telefónicos o decenas de Megabits por segundo, dependiendo del número de transpondedores en un satélite, se define su capacidad total, por ejemplo:

Los Satélites Brasileños tienen una capacidad de 24 transpondedores - de 36 MHz. de ancho de banda, los Satélites Canadienses ANIK E tienen 16 transpondedores de 54 MHz. de ancho de banda, los Satélites Norteamericanos Galaxy tienen 24 transpondedores de 36 MHz. mientras los Morelos de México tienen 22 transpondedores, de los cuales 12 son de 36 MHz., 6 de 72 y 4 de 108 MHz., por mencionar sólo algunos ejemplos de los Satélites que hay en el Mundo.

La mayoría de los transpondedores, utilizados hasta la fecha son del tipo de repetidor quasi-lineal. (Próximamente se utilizarán repetidores del tipo regenerativo para transmisión digital, en los que se - demodule y remodule la señal).



TRANSPONEDOR

Fig. 2. 2

II.2.4. ESTACIONES TERRENAS

Existe una gran variedad de estaciones terrenas, dependiendo de las necesidades particulares de cada usuario. Hay estaciones para recibir video o datos y otras para transmitir y recibir video, voz y datos. Dependiendo de la aplicación y la capacidad, serán el tamaño de la antena y sus componentes.

Por lo general desde el punto de vista de comunicaciones, una estación terrena transmisora-receptora, esta constituida por la antena, el amplificador de bajo ruido, al amplificador de potencia, las cadenas ascendentes y descendentes, el Modem, el Multiplexor y el equipo de banda base, como se observa en la figura. 2.3.

De acuerdo a las necesidades en particular, se tendrá equipo extra, como un sistema automático de compensación de potencia o un sistema de rastreo, sin perder de vista el sistema de energía no interrumpible.

El diámetro de las antenas, varía desde 0.6 m. únicamente para recepción, hasta 32 mts., para aplicaciones con Satélites Internacionales. En este rango, se tienen las antenas VSAT'S (Very Small Aperture Terminals), para redes digitales de Voz, Video y Datos, con diámetros de antena de 1.2 y 1.8 mts.

En algunos casos, el usuario cuenta con la estación terrena en sus instalaciones, por lo que no requiere de enlaces terrestres para comunicarse con sus propias estaciones.

En aquellos casos, en los que se requiere hacer alguna conexión entre la estación terrena y el usuario se puede disponer de un enlace de microondas, o bien, de fibras ópticas o a través de la red conmutada. Esto dependerá además de la calidad que se desee ofrecer, de las necesidades de capacidad, de la distancia y de las facilidades de infraestructura que se tengan.

Antes de obtener las ecuaciones de enlace, se presentará brevemente el procesamiento de las señales que se van a transmitir vía satélite.

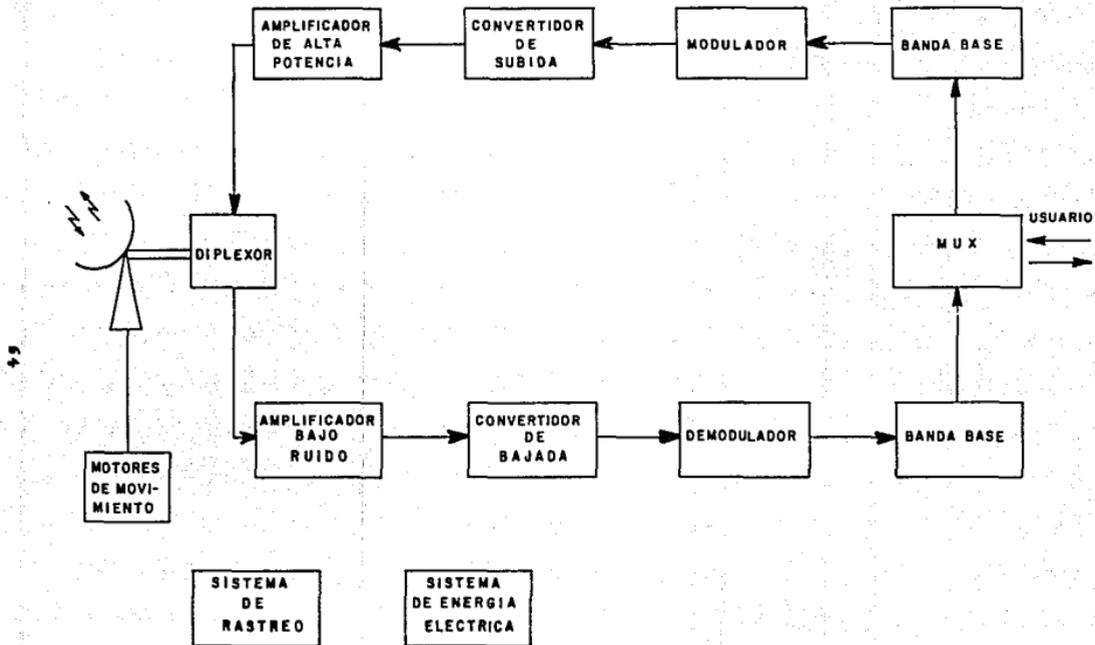


DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA ESTACION TERRENA

Fig. 2.3

III. TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES.

III.1. INTRODUCCION.

En esta sección se describen las técnicas de procesamiento, usadas para codificar, combinar, modular y transmitir señales vía satélite. La Figura.3.1 es una vista simplificada de las técnicas de procesamiento usadas en las señales de voz, datos y video entre usuarios y estación terrena.

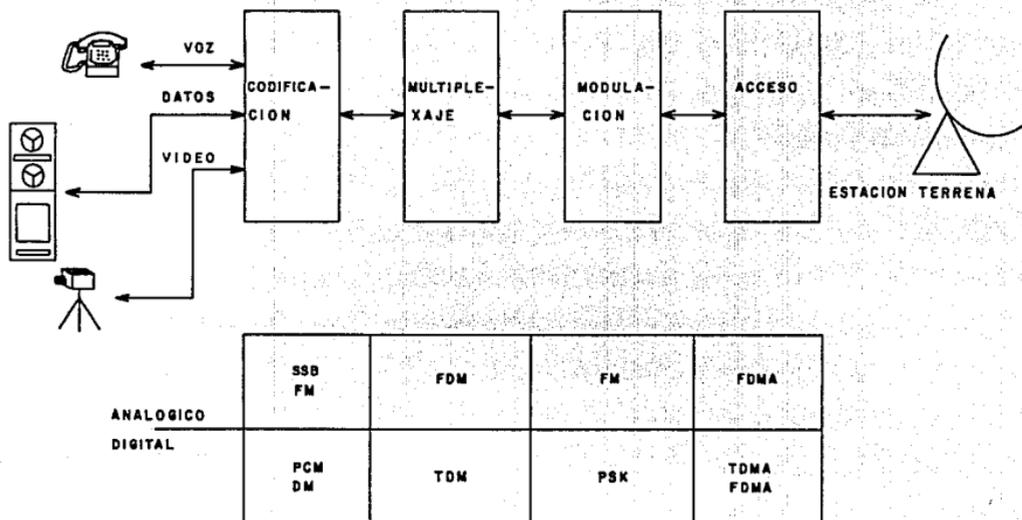
Estas técnicas han sido divididas en cuatro niveles:

El primer nivel es la fuente de codificación ó el nivel de modulación de un solo canal, donde una señal individual de voz, datos ó video es convertida a una forma conveniente para su transmisión a futuro procesamiento.

El segundo nivel es el multiplexaje, donde varios canales de voz, datos ó video son combinados para formar una sola señal compuesta de alta velocidad.

El tercer nivel es el de modulación, donde una señal de Banda base -- conteniendo uno ó más canales es modulada con una portadora senoidal, para su transmisión de una manera conveniente sobre un enlace de R.F.

El cuarto nivel es el modo de acceso al satélite.



Técnicas de procesamiento de señales.

Fig. 3.1

Esta sección es una breve explicación de estos niveles y se concentra en una descripción de los sistemas que son actualmente usados en las comunicaciones vía satélite.

III.1.1. SEÑALES DE VOZ Y DATOS.

Antes de iniciar la exposición de las técnicas de procesamiento, brevemente se tratará sobre las características de las señales de voz y datos que son comúnmente transmitidos.

Para entender el funcionamiento, de varios esquemas de codificación y modulación, es importante conocer la calidad y servicios requeridos para cada tipo de señal.

III.1.1.a. SEÑAL DE TELEFONIA. (SEÑAL DE VOZ)

La señal de telefonía es una variación de las clases generales de las señales de audio que ocupan hasta 20 KHz. La señal de telefonía, es generada por la conversión de energía acústica en señales eléctricas, usando aparatos telefónicos como transductores.

La variación de la forma de onda en el tiempo no es fácil de caracterizar. La señal de telefonía, es una señal de banda limitada (por la combinación de los teléfonos y de las redes telefónicas), a un rango de frecuencia de 300 a 3400 Hz.

La calidad de recepción de una señal de voz analógica es usualmente especificada por varios parámetros. El más común es el de relación de señal a ruido.

El peor de los casos especificados por el C.C.I.T.T. aceptado para transmisiones distantes (considerando que la " señal " será un tono nominal llamado "tono de prueba") es alrededor de 50 dB, esto corresponde a una potencia máxima permisible de ruido de 10,000 pW en la banda de voz.

Las señales analógicas de voz tienen una alta cantidad de picos. La distribución de volumen de una persona que está hablando, es amplio requiriendo un rango dinámico de operación.

Otra importante característica es que las personas que están conversando tienden a hacer pausas entre frases y oraciones. Esto resulta en energía activa que se utiliza de cerca de un segundo de duración con intervalos de silencio de un segundo ó más, el promedio de toda esta actividad da un 35 a 40% activo y un 60 a 65% de tiempo muerto.

Cuando se emplea en telefonía transmisión digital, dos parámetros adicionales deben ser especificados para determinar la calidad requerida de la señal analógica reconstruida, estos son:

La velocidad de transmisión (bits/seg.). y

El índice de bits erróneos (BER).

Las velocidades típicas de transmisión digital para Telefonía Comercial, usando los esquemas de codificación más comunes están en el rango de 32 a 64 Kb/s.

El índice de Bit erróneos (BER) requerido para soportar telefonía, es

considerado normalmente en un umbral de 10^{-4} esto establece que existirá un bit erróneo en 10,000 bits transmitidos, abajo de este umbral se considera inaceptable.

III.1.1.b. SEÑALES DE DATOS.

Las señales de datos pueden ser clasificados por la velocidad que manejan en tres categorías.

Datos en banda angosta (menor o igual a 300 b/s). Se puede tener telegrafía e inclusive un amplio rango de aplicaciones de comunicaciones, con teleimpresoras y terminales.

Datos en banda de voz (300 b/s a 16 kb/s). Se puede tener facsímil y servicios financieros que esten en este rango, utilizando modems que operen dentro de la banda de voz (300 - 3400 Hz.).

Datos en banda ancha (mayor o igual de 16 kb/s). Se puede tener correo electrónico, transferencia de archivos a alta velocidad y diseño auxiliado por computadora, se puede utilizar la alta capacidad de transmisión ofrecida por satélite, fibra óptica y canales de radio digitales.

Dado que existe un largo menú de servicios, velocidades, aplicaciones e interfaces usadas en comunicaciones de datos, el índice de errores en la transmisión (BER) requerido para soportar satisfactoriamente --

estas comunicaciones, depende críticamente de la aplicación que se requiere.

Los BER requeridos para servicios de datos son típicamente mucho más severos que para voz. Esto tiende a complicar el diseño de sistemas, donde se tienen las aplicaciones de voz y datos en el mismo enlace.

Algunas de las razones por las que la técnica digital a ganado una amplia aceptación son:

Inmunidad: Las señales digitales tienden a ser menos susceptibles a la distorsión de la forma de onda, interferencia, no linealidad y ruido comparado con las señales analógicas.

Integración: Convirtiendo las señales a una forma digital se tiene una oportunidad para combinar e integrar varios tipos de señales de voz y datos, esto provee un lenguaje común en las comunicaciones.

Compatibilidad de mensajes analógico/digital y computadoras. Un flujo de bits digitales es un flujo de bits digitales, independientemente de cual sea la fuente de información, voz o datos.

El multiplexaje y procesamiento de señales digitales es de menor costo que el de señales analógicas.

Ventajas económicas inmediatas y a futuro. El incremento de la capacidad, más flexibilidad en la operación y los reducidos costos de

producción contribuyen a la ventaja económica de los sistemas de comunicación digital.

El rápido avance en el desarrollo de las ultra altas velocidades --
(rango de 1 Gb/s) en los circuitos lógicos.

La alta velocidad en procesadores digitales, y mini/micro computadoras.

Establecen los beneficios de las comunicaciones digitales.

III.2 CODIFICACION DE LA INFORMACION.

La codificación digital para señales de voz datos y video, a tenido una enorme cantidad de investigaciones y desarrollo.

Los párrafos que siguen se enfocan a la codificación de voz analógica al dominio digital, usando formas de codificación convencionales.

Los métodos usados para codificar la señal de voz humana cubre un -- rango de datos que van desde 2.4 Kb/s hasta 400 Kb/s y depende específicamente de la aplicación.

Los programas de radio de alta calidad tienen una cobertura de 64 a 400 Kb/s.

Las redes locales de telefonía de buena calidad pueden ser acomodadas entre 32 y 64 Kb/s.

Redes telefónicas privadas pueden ser obtenidas entre 4.8 y 32 Kb/s.

En las redes telefónicas de calidad, la codificación de voz cubre los rangos de 32 a 64 Kb/s. En este rango de aplicación, existen varias técnicas que pueden ser consideradas, pero la más ampliamente usada es la de Modulación por Codificación de Pulsos (PCM), introducida en los inicios de los 60's.

PCM se desarrollo rápidamente y se volvió la norma internacional en transmisión digital de voz para 64 Kb/s.

Además existen;DPCM, diferencial PCM.

DM, modulación delta.

y varios adaptivos, tal como el ADPCM adaptivo diferencial PCM.

III.2.1. MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS (PCM).

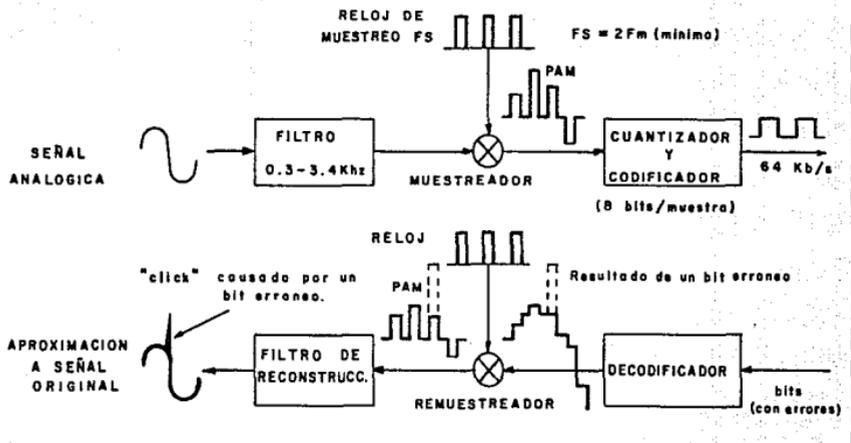
PCM es una técnica convencional de codificación, la cual convierte - directamente la señal analógica de voz a una secuencia de números binarios multidígitos (bit). No trata de tomar ventaja de la redundancia de la señal, como lo hacen otros métodos de codificación.

La figura. 3.2. es un diagrama a bloques de un codificador/decodificador PCM (codec), diseñado para convertir la señal analógica en bits y reconstruir la señal analógica en el lado de recepción del flujo de bits recibidos.

Se tiene a la entrada del codec, una señal en la banda de voz ocupando nominalmente 4 KHz de ancho de banda la cual es primero aplicada a un filtro paso banda, con un ancho de banda de 300 a 3400 Hz., con el fin de asegurar que la condición de limitación de banda se cumpla con la aproximación deseada.

La salida del filtro es normalmente ajustado en su ganancia, tal que para un tono de prueba a nivel normal, el valor máximo de la forma de onda podrá disminuir cerca de 3 dB., abajo del máximo nivel acomodado por el codec.

Este filtrado y ajuste de ganancias de la señal es entonces aplicado al muestreador.



Codificador/Decodificador PCM.

Fig. 3.2

El propósito del muestreador, es determinar la amplitud instantánea de la señal de voz a intervalos regulares de tiempo.

La máxima frecuencia de la señal a la entrada del muestreador determina la mínima tasa a la cual la señal puede ser muestreada sin pérdida del contenido de información.

De acuerdo al teorema de muestreo de Nyquist que dice que mientras la señal sea muestreada al doble de la frecuencia más alta de la señal analógica de banda limitada, 2 fm, la señal original puede ser recuperada sin distorsión, de aquí la señal en banda de voz de 4 KHz, es muestreada a 8 KHz.

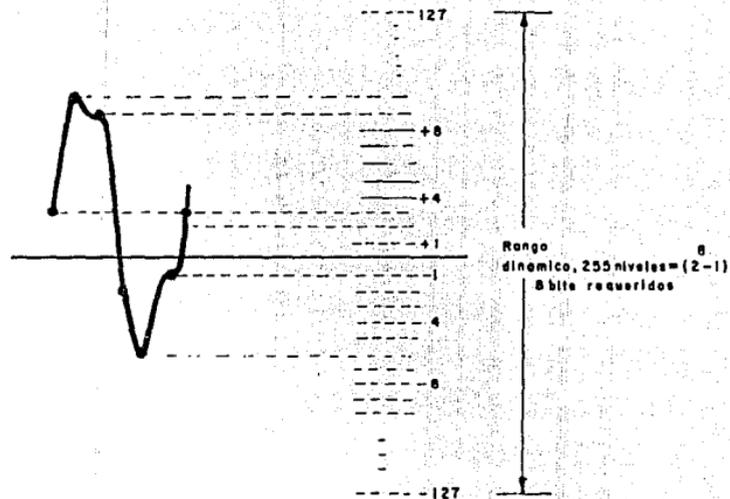
Esta es la norma internacional de muestreo para telefonía digital.

A la salida del muestreador se tienen pulsos modulados en amplitud (PAM) cada pulso se presenta en intervalos de 125 microsegundos.

La amplitud de el pulso es igual a la amplitud instantánea de la forma de onda analógica en el momento del muestreo.

Los PAM son convertidos a una señal PCM, al aplicar los PAM a un convertidor cuantizador como se ilustra en la figura 3.3.

El rango de amplitud ocupado por la señal desde el mínimo al máximo, llamado el "rango dinámico " es dividido en algunos niveles de cuantización, en los sistemas usados para telefonía, son usados aproximadamente 256 niveles.



Muestra	Nivel decimal	Código binario
1	+3	01000011
2	+10	010001010
3	+9	010001001
4	-2	110000010
5	-6	110000110
6	-1	110000001
7	+3	01000011

Fig.3.3. Conversión de PAM a PCM.

Cada amplitud de los PAM muestreada es comparada con estos niveles, muestra por muestra, a cada PAM se le asigna el valor más cercano a alguno de los niveles. Cada uno de estos niveles es identificado por un número, representado por un código binario de 8 bits como se ve en la figura.3.3.

La palabra codificada para sucesivas muestras es transmitida en forma serial. La tasa de transmisión es de 8 000 muestras por 8 bits de palabra, esto da 64 000 bits/seg (64 Kb/s). La forma de transmisión es determinada por el sistema de multiplexación aplicado al siguiente nivel del sistema.

Para la recepción, cada palabra de 8 bit es convertida a un pulso a través del decodec, donde la amplitud de este pulso está determinado por el valor de la palabra.

Entonces a la salida del decodec se tiene una secuencia de PAM. Esta señal se vuelve a remuestrear y se pasa a un filtro pasa bajas el cual produce una replica de la señal original transmitida.

El proceso de decodificación no puede estar exento de errores, dado que la amplitud cuantizada representada por una palabra binaria no es precisamente la amplitud de la muestra, dado que el receptor reconstruye la señal basada en una muestra codificada, esto da una discrepancia entre la señal original y la señal recuperada, esta discrepancia se dice que es causada por una distorsión por cuantización y puede ser considerado como un ruido y es llamado ruido de cuantización.

Este ruido de cuantización es dependiente de la señal pero en general es proporcional al cuadrado de la distancia entre niveles adyacentes de cuantización, esto es si se tienen más niveles de cuantización se tendrá menos ruido, contrariamente reduciendo el número de niveles - (ó reduciendo el número de bits requeridos por segundo) se incrementa el ruido de cuantización.

Si el rango de la amplitud de la señal que sea codificada esta dividida en $L = 2^B$ niveles, entonces B serán los bits requeridos por --- muestra.

III.2.2. OTROS SISTEMAS PRACTICOS DE CODIFICACION DE VOZ.

Métodos opcionales, para convertir las señales analógicas al formato digital, se han propuesto para algunas aplicaciones, con la esperanza de reducir el ancho de banda requerido, mejorar la eficiencia o reducir el costo

III. 2.2.a. MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS DIFERENCIAL (DPCM)

La modulación delta es uno de estos métodos, y ha sido adoptado para algunas aplicaciones que requieren la transmisión de voz o de imágenes. En tales aplicaciones existe un alto grado de redundancia en la la información que se va a transmitir. La información pasada contiene también parte de la información actual, como para poder predecirla - aceptablemente bien, de manera que las señales nuevas sólo necesitan ser transmitidas si se producen cambios significativos en ellas.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Considérese el diagrama de bloques del sistema de modulación delta que se muestra en la figura 3.4. Justamente como en el caso de la conversión A/D ya analizada, la señal analógica $x(t)$ debe ser muestreada en forma periódica. Los valores de las muestras, que se designan x_j , $j = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$, se comparan con un valor muestra predicho, denominado g_j , y la "diferencia Δ_j " se hace pasar por el cuantizador. Obviamente si Δ_j es pequeño durante la mayor parte del tiempo, de manera que la predicción es buena, se necesitaran pocos bits para representar esta señal diferencia.

El modulador delta utiliza un cuantizador de dos niveles, de manera que un sólo bit se emplea para representar la señal. Los dos niveles del cuantizador de la figura 3.4. se llaman tk' .

En el receptor, la señal diferencia cuantizada se agrega a la salida del predictor, para obtener una estimación discreta x_j de la señal muestreada deseada x_j . Estas estimaciones discretas se pasan a continuación por un filtro pasabajas, con el objeto de suavizarlas y generar la estimación $x(t)$ deseada.

Es evidente que la mejora en el desempeño podría obtenerse usando más de dos niveles para el cuantizador. Este esquema más general se denomina "modulación por codificación de pulsos diferencial (DPCM)". La modulación delta es entonces un caso especial de DPCM, con solo dos niveles de cuantización.

Este sistema transmite velocidades menores de 64 Kb/s.

Como en el caso de los sistemas PCM, el ruido también se introduce cuando se emplea la modulación delta.

A causa de que la señal diferencia es cuantizada en dos niveles, aparece un ruido granular o de cuantización, similar al de PCM, que se presenta en la salida del receptor,

Al contrario de PCM, donde el ruido podía reducirse usando más niveles de cuantización, ahora sólo puede reducirse muestreando con mayor frecuencia.

Se encuentran sistemas de modulación delta que emplean velocidades muy superiores a la velocidad de Nyquist que se utilizan en PCM. Esto significa que la última velocidad de bits es superior a la que se esperaba originalmente con el uso de los dos niveles de cuantización.

En algunos casos la velocidad de bits requerida puede ser superior a la de PCM. Por esta razón, se han comenzado a poner en práctica esquemas de "modulación delta adaptables", que se describen brevemente en la siguiente sección.

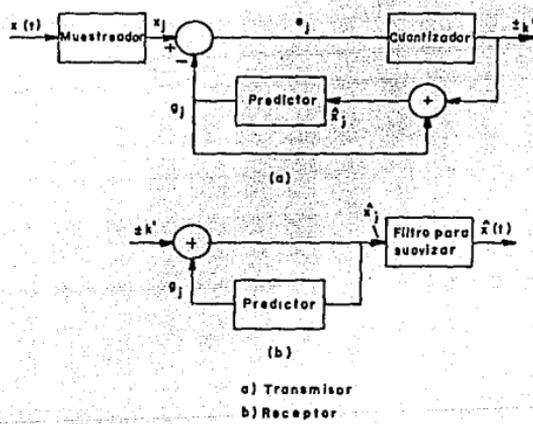


Fig 3.4 Modulación Delta

III.2.2.b. ADAPTIVO DIFERENCIAL PCM (ADPCM).

ADPCM también usa la técnica de codificación diferencial, para reducir la velocidad efectiva de bits sin afectar seriamente la calidad.

Este sistema explota la característica de que el error medio cuadrático entre muestras adyacentes de PCM, es mucho menor que el valor medio cuadrático de todas las muestras PCM, tomadas juntas. Entonces, la señal de diferencia o error, puede ser cuantizado y codificado usando menos bits por muestra que los requeridos para PCM.

Por supuesto la correlación de muestra a muestra en la forma de onda de la señal de voz no es estacionaria.

Entonces, el codificador debe tener un cuantizador adaptivo y codificar en orden a la variación de la señal y a la correlación que existe entre muestra y muestra.

Un filtro adaptivo es necesario para el dispositivo predictor.

ADPCM, tiene una gran ventaja sobre las otras técnicas, es fácilmente construido de muestra PCM, siendo compatible con máquinas de conmutación PCM.

Una norma de 32kb/s. en sistema ADPCM esta siendo estandarizada tanto en E.U. como en Europa.

III.3. MULTIPLEXAJE.

El multiplexaje por división de tiempo (TDM) es usado para combinar múltiples señales codificadas digitalmente, en una señal compuesta de alto nivel ó igual a la suma de la velocidad de las entradas.

El multiplexaje puede ser por bit ó por carácter dependiendo de la -- codificación usada.

Las entradas digitales pueden representar una combinación de señales de voz digital, datos ó video.

Si cada una de las señales a la entrada del multiplexor han sido generadas por la misma fuente ó fuentes con reloj con la misma fase el multiplexaje es sincrónico.

Las técnicas de " pulso de relleno " también son usadas para combinar señales digitales no sincrónicas.

Para combinar las señales de salida del codificador, el multiplexor puede añadir marcos de información dentro de la señal compuesta, ésta señal usualmente consiste de un patrón conocido, para el cual el de-- multiplexor está diseñado para buscarlo dentro del flujo recibido de bits.

El formato establece el inicio y el fin de cada parte en el tiempo. Un formato consiste de una muestra secuencial de cada una de las --- entradas.

Como en el caso de FDM, la técnica TDM usada en aplicaciones comerciales está estructurada dentro de una jerarquía.

Existiendo dos jerarquías TDM en el mundo.

Estas son la jerarquía " T - carrier " usada principalmente en Norteamérica y la jerarquía Europea (CEPT) usada en Europa y parte de América.

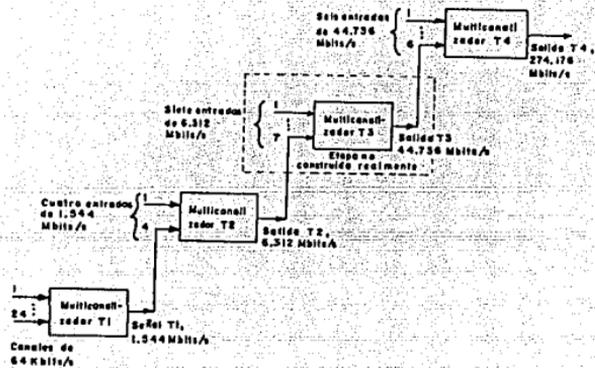
La figura 3.5 resume la velocidad de datos y la organización de canales en cada nivel de las dos jerarquías.

Cada nivel en la jerarquía corresponde a un punto primario de cruceconexión del cual las señales son mux y demux.

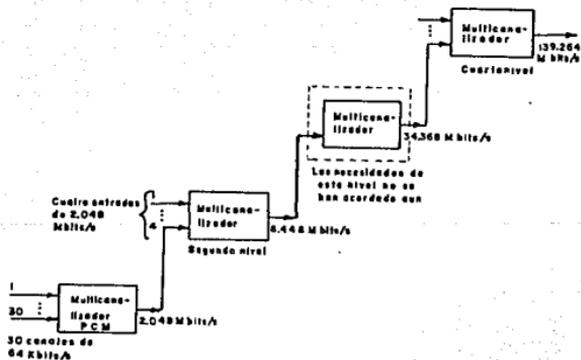
Los niveles en la jerarquía Norte América, se designan con DS (señal digital) y los sistemas usados para transmitir varios niveles de DS son identificados como sistema " T-carrier ".

El primer nivel, es llamado DS-1 emplea una velocidad de 1.544 Mb/s - esta señal puede acomodar hasta 24 canales con señales de voz ó datos cada uno consumiendo una velocidad nominal de 64 Kb/s, como se ve en la fig.3.5.

El formato de un DS-1, utiliza 24 ranuras de tiempo con 8 bit, cada una reservada para una señal decodificada PCM de voz ó datos, entonces un marco contiene 192 bits (24 x 8) de información, además un bit 193 para separación de marcos.



Jerarquia digital del sistema A.T.T.



Jerarquia digital según la recomendación de CCITT.

Fig. 3.5. Niveles de jerarquía.

En telefonía PCM normalmente el octavo bit de cada ranura es tomado cada seis marcos para transmitir señalización de discado, así como de colgado ó descolgado del teléfono.

El tiempo de cada marco es de 125 μ s, consistente con la tasa estandarizada de 8000 Hz.

$$T = 1/8000 = 125 \mu s$$

Note en la fig.3.5 que las velocidades para todos los niveles altos son ligeramente mayor que la suma de las velocidades de entrada.

Por ejemplo :

$4 \times 1.544 = 6.176$ Mb/s. los bit adicionales requeridos para el nivel DS-2 (6.312 Mb/s) representan los pulsos de relleno para la sincronía de velocidades de los niveles altos de multiplexaje.

El primer nivel en la jerarquía Europea usa velocidades de 2.048 Mb/s y se puede referir a el como al nivel E-1.

El marco estandar PCM E-1 tiene 32 ranuras de 8 bit cada una en un marco de 125 μ s.

Únicamente, 30 de las ranuras de 8 bit son usadas para la transmisión de señales de audio ó video de datos.

El formato E 1 usa un canal de 8 bit (ranura de tiempo) para la sincronización y un segundo canal de 8 bits (ranura de tiempo) para la comunicación de la señalización de los 30 canales.

Además existen los pulsos de relleno para la sincronización de velocidades de los niveles altos de multiplexaje.

III.4. MODULACION DIGITAL.

La función de un modulador digital, es aceptar el flujo de bit que se van a enviar y modular esta información a una portadora senoidal para su transmisión, de una manera conveniente en un enlace de R.F.

Es un fenómeno bien conocido de la teoría electromagnética que un radiador de energía eléctrica (la antena) debe ser al menos del orden de magnitud de la longitud de onda.

Normalmente la amplitud, la frecuencia o la fase de la portadora es modulada por lo valores binarios de los datos.

La portadora modulada es entonces transmitida a través de un canal de R.F., donde puede ser afectada por el ruido, resultando en bits erróneos en los datos demodulados.

La función del demodulador, es aceptar la portadora modulada y hacer decisiones binarias para reconstruir el flujo original de bits.

Existen esencialmente dos métodos comunes de demodulación, uno conocido como detección coherente ó sincrónica que consiste en la multiplicación de la señal que llega por la frecuencia de la portadora, que se genera localmente en el receptor y es exactamente de la misma frecuencia, además esta sincronizada en fase con la señal que llega, de ahí el nombre de sincronía.

El sincronismo de fase es muy difícil de obtener, particularmente si la transmisión se realiza a grandes distancias.

Para obtener la sincronía hay varios métodos disponibles, tales como transmitir una portadora piloto superpuesta a la hilera binaria de señales, de alta frecuencia, la cual puede extraerse en el receptor y utilizarse, para sincronizar el oscilador local del receptor.

La otra forma común de detección es la llamada "detección de envolvente", evita los problemas de tiempo y de fase de la detección sincrónica, en este caso la señal de alta frecuencia que llega se hace pasar a través de un dispositivo no lineal y un filtro pasabajas.

Básicamente existen tres maneras de modular digitalmente una portadora senoidal, variando su amplitud, su frecuencia ó su fase de acuerdo a la información que se va a transmitir.

En el caso binario, esto corresponde a la conmutación de uno de los 3 parámetros entre dos valores posibles.

Más comúnmente, la conmutación de amplitud oscila entre cero (el estado apagado) y algún nivel predeterminado de amplitud (el estado de encendido), tales sistemas se denominan entonces ON OFF Keyed (OOK) "manipulados ó llaveo por encendido y apagado".

Analogamente, en la "manipulación ó llaveo por corrimiento de frecuencia" (FSK) la portadora conmuta entre dos frecuencias predeterminadas

También se tiene la manipulación ó llaveo por corrimiento de Fase (PSK) en el cual la fase de la señal es cambiada en π radianes ó

180°, puede considerarse que lo que varía es la polaridad de la portadora de acuerdo con la hilera binaria de información.

Hay muchas variaciones y combinaciones de estas técnicas, las cuales son utilizadas en la transmisión de señales digitales a través de cable trenzado ó coaxial y sistemas de radio.

Para aplicaciones en satélite la más eficiente de estas técnicas es PSK con detección coherente.

Esta técnica tiene la característica de transmitir una señal con envolvente constante y la información con transiciones de fase de la portadora, con la cual se presta para una detección coherente.

Llaveo por corrimiento de fase (PSK) La forma más simple de PSK es el PSK binario (BPSK), donde los datos digitales modulan una portadora senoidal, como se ilustra en la figura 3.6.a. la señal modulada, se puede ver como uno de dos posibles estados de fase (0 y π radianes) durante cada intervalo de bit (T_b) representando un 0 o un 1.

En el dominio del tiempo la portadora modulada aparece con una constante envolvente senoidal, y con rápidos cambios de fase ocurriendo a una velocidad llamada " velocidad de llaveo " y depende de la velocidad de los datos.

Como se ilustra en la figura 3.6.b. mucha de la energía de la señal modulada está contenida en el lóbulo mayor.

El ancho de banda de la señal modulada esta considerada como dentro del lóbulo mayor. Los lóbulos menores del espectro se repiten indefinidamente disminuyendo su amplitud.

El espectro de una señal PSK modulada es teóricamente infinito. En BPSK, por limitaciones, el ancho de banda, será aproximadamente igual a el índice de bits, la energía en los lóbulos laterales se desperdicia, provocando con esto un impacto en su funcionamiento.

En la práctica técnicas mas sofisticadas de modulación son usadas para obtener más energía dentro del lóbulo mayor y reducir la potencia de los laterales de las portadoras moduladas, esto es hecho procesando la señal de tal manera que la transición de datos sea mucho menos abrupta, resultando en una transición más suave en la fase. Esto tiende a limitar el ancho de banda esencial de la señal y provee una operación mas eficiente.

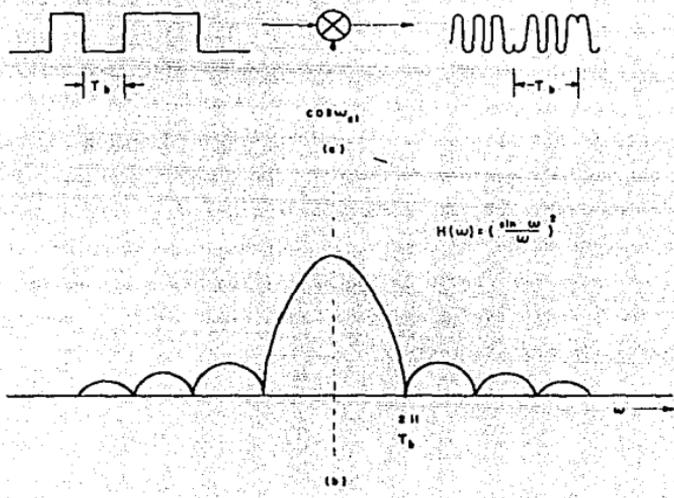


Fig. 3.6 SEÑAL BPSK

La transmisión de la portadora modulada PSK a través de un canal ruidoso, puede causar errores en la demodulación de la señal si el ruido afecta la fase de la portadora.

Para especificar el efecto de los errores se debe determinar la relación entre la probabilidad de error y una figura de mérito relacionando la portadora con el ruido en el canal de R.F.

Dado que los demoduladores digitales, toman decisiones para cada intervalo de tiempo de bit, se puede demostrar que el índice de error es una función de la relación señal a ruido, conocida como la relación energía de bit a densidad de ruido, escrito como E_b/N_0 .

Una revisión de los tipos de relaciones que existen entre señal y ruido es conveniente.

Primero el ruido térmico es una función del ruido debido a la temperatura y al ancho de banda, esto es :

$$N = KTB \quad (3.1)$$

donde K = constante de Boltzmann

T = ruido de temperatura

B = ancho de banda medido en Hz

Esto se puede reescribir como:

$$N = N_0 \cdot B \quad (3.2)$$

donde N_0 es llamado densidad de ruido, el cual es la potencia de ruido normalizado a 1 Hz de ancho de banda.

En la práctica, únicamente se puede obtener la relación de portadora a ruido, la cual es la relación de la potencia de la portadora a la potencia de ruido, medidos en el ancho de banda total (B).

Se puede usar la relación de portadora a densidad de ruido C/N_0 el cual se relaciona con la portadora a ruido C/N por la fórmula:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0 \cdot B} \quad (3.3)$$

N = ruido del ancho de banda total.

N_0 = la potencia de ruido en 1 Hz de ancho de banda

La relación de energía de un bit a densidad de ruido está relacionada de acuerdo a :

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0 \cdot B} = \frac{E_b}{N_0 \cdot B \cdot T_b} = \frac{E_b \cdot R_b}{N_0 \cdot B} \quad (3.4)$$

donde E_b es la energía de un bit en un intervalo de tiempo T_b .

R_b es la velocidad de bits y se relacionan por $T_b = 1/R_b$

Nótese que si el ancho de banda de medición es igual al índice de bit $B = R_b$ (Lo cual es sugerido por el concepto de ancho de banda esencial) entonces:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} \quad (3.5)$$

En la práctica, primero se mide C/N y se convierte a E_b/N_0 usando las ecuaciones anteriores. Es común en la práctica dar un margen a esta ecuación para cubrir las imperfecciones del equipo, comparado con el funcionamiento teórico.

Se puede desarrollar una relación entre la probabilidad de un bit erróneo, P_b y E_b/N_0 por la integración de la densidad Gaussiana, esta integración lleva a la siguiente relación.

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{E_b/N_0} \quad (3.6)$$

donde la función de error, erfc , está tabulado en todos los libros de tablas y representa la integral de la densidad Gaussiana.

La figura 3.7. muestra una gráfica de P_b contra E_b/N_0 para el funcionamiento teórico de un PSK binario coherente.

El ancho de banda típico ocupado por la señal BPSK modulada, es aproximadamente 1.1 a 1.2 veces el índice de bits.

Abajo del índice de errores de 10^{-7} , la regla es reducir P_b por un factor de 10 dB., por cada dB., de incremento en E_b/N_0 .

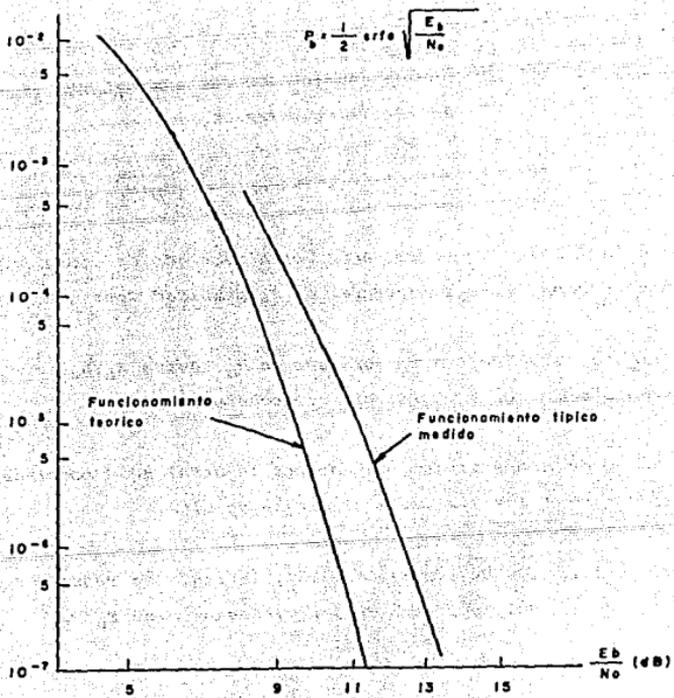


Fig. 3.7. P_b contra E_b/N_0 .

Una utilización más eficiente del ancho de banda de R.F. se puede -- lograr sin la reducción del índice de errores empleando cuatro fases ó cuaternario PSK (QPSK), como se ilustra en la fig. 3.8.

Una señal QPSK modulada se logra con la operación de dos moduladores BPSK en cuadratura. (mod. i y q).

La portadora es alimentada directamente al modulador del canal i, -- pero es corrida en frecuencia 90° antes de entrar al modulador del -- canal q.

La salida de los dos canales, es entonces sumada y juntos forman la señal QPSK.

Entonces, el estado a la salida para cada intervalo de señal (el cual es llamado símbolo) es dependiente de un par de bits.

En el dominio de la frecuencia, el aspecto de potencia toma la forma ($\text{Sen } w/w$)". El ancho de banda de la señal QPSK es exactamente la mitad de la señal BPSK para la misma intensidad de velocidad.

Esta reducción en el ancho de banda es como resultado del hecho de -- que la " velocidad de llaveo " a la salida del modulador (la velocidad del símbolo) ha sido reducido por un factor de 2 en el caso de -- QPSK comparado con BPSK.

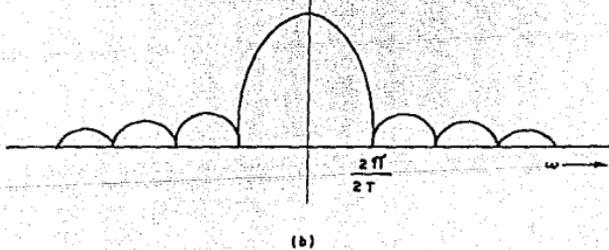
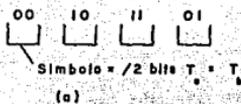
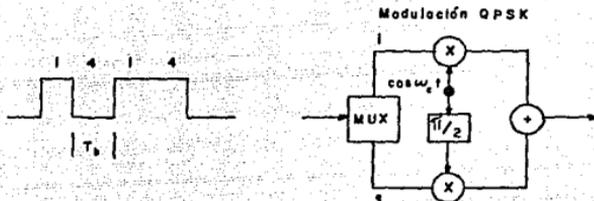
El uso de QPSK brinda una ventaja significativa comparada con BPSK, dado que QPSK puede obtener la misma tasa de error funcionando en un ambiente ruidoso (fijado E_b/N_o), pero utilizando únicamente la mitad del ancho de banda requerido para BPSK.

Extendiendo esta idea, sistema de ocho fases, en este caso se obtiene una reducción en la velocidad de lleveo y del ancho de banda ocupado. Ahora cada símbolo depende de un grupo de 3 bits con lo cual el ancho de banda requerido, es menor por un factor de 3 que en BPSK.

En el sistema de 8 fases no se puede mantener la ortogonidad característica del QPSK. Como consecuencia, se requiere mayor potencia para mantener la misma velocidad.

De hecho, comparado con QPSK, ocho fases PSK resulta en una reducción de ancho de banda por un factor de $3/2$ pero requiere más del doble de potencia en la portadora.

La implementación de modems PSK requiere técnicas de diseño muy cuidadosas y un conocimiento de las técnicas de filtrado y amarre de fases.



3.8 Señal QPSK

III.5. ACCESO MULTIPLE.

Acceso múltiple se define como la técnica, con la cual más de un par de estaciones terrenas, pueden usar simultáneamente el transpondedor de un satélite. Es la técnica usada para explotar las ventajas geométricas del satélite. Esta es la esencia de las redes vía satélite.

Muchas aplicaciones de comunicaciones vía satélite involucran a un número de estaciones terrenas comunicándose con otras a través del canal vía satélite.

El concepto de múltiple acceso involucra sistemas que hacen posible, que múltiples estaciones terrenas interconecten sus enlaces de comunicaciones a través de un sólo transpondedor.

Un transpondedor puede ser accedido por una sola portadora ó por múltiples portadoras.

Estas portadoras pueden ser moduladas por un solo canal ó por múltiples canales en banda base, los cuales pueden incluir señales de voz, datos ó video.

Aunque existen muchas implementaciones específicas de acceso múltiples, existen únicamente 3 sistemas fundamentales y son:

- Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA):

Este sistema canaliza un transpondedor utilizando múltiples portadoras. El ancho de banda asociado con cada portadora puede ser tan pequeño, como el requerido para un solo canal de voz.

Se puede tener tanto transmisión digital como analógica, en modo continuo ó en modo de ráfaga.

- Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA):

Este sistema se caracteriza por el uso de una sola frecuencia portadora por transpondedor, donde el ancho de banda asociada con la portadora es típicamente del total del ancho de banda del transpondedor.

Este ancho de banda es compartido en el tiempo, entre los usuarios en espacios de tiempo.

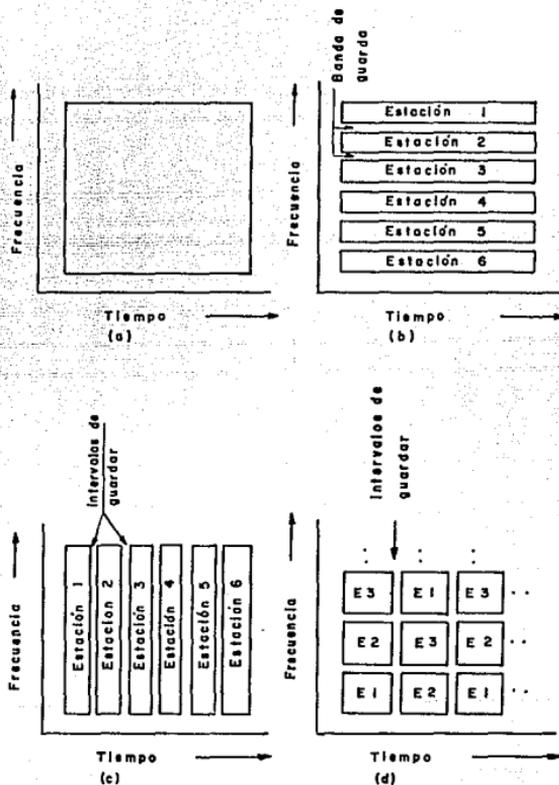
TDMA se utiliza únicamente en transmisión digital y opera en modo de ráfaga.

- Acceso Múltiple por División de Código (CDMA):

Este método transforma la señal usando una secuencia de código para cada usuario.

Los usuarios pueden transmitir simultáneamente en todo el ancho de banda del transpondedor al mismo tiempo, y se utiliza únicamente para transmisión digital.

La figura 3.9 muestra estos tipos de accesos.



- (a) espacio disponible para comunicaciones
- (b) FDMA
- (c) TDMA
- (d) CDMA

Fig. 3.9 Acceso múltiple en enlaces vía satélite

Variaciones de estos tres accesos básicos son empleados en aplicaciones de comunicaciones comerciales, vía satélite.

FDMA.

El método de FDMA es usado con múltiples canales por portadora (MCPC) y/o un solo canal por portadora (SCPC).

MCPC.

En el caso de MCPC este se deriva del sistema terrestre de multiplexaje por división de frecuencia y se puede tener transmisión analógica o digital.

En el caso de transmisión digital se utiliza multiplexaje por división de tiempo para combinar varios canales digitales.

La señal digital en banda base es entonces modulada con una portadora digital, usando típicamente llaveo por corrimiento de fase (PSK). Teniéndose varias portadoras al mismo tiempo en el transpondedor. La transmisión digital tiende a ser menos sensible a el ruido.

Las portadoras pueden tener anchos de banda variables, dependiendo del número de canales que contenga.

En todos los casos, una porción significativa (alrededor de un 10%) de el total del ancho de banda del transpondedor es consumido por las bandas de guarda requeridas para la separación espectral.

SCPC.

El otro tipo de FDMA emplea un solo canal por portadora (SCPC).

En este caso el espectro consiste de muchas portadoras en espacios adyacentes de frecuencia, que ocupan el ancho de banda del transpondedor

Cada portadora es modulada con la información de un solo canal de voz o de datos. La transmisión puede ser analógica o digital.

En SCPC también se presentan problemas de intermodulación con los canales adyacentes, razón por la cual el transpondedor, se opera cerca de su punto de operación.

También se puede tener SCPC operando por ráfaga, en este caso las portadoras, se apagan en cuanto existe un intervalo de silencio, con esto se reduce la potencia necesaria en cerca de 4 db. y se reduce la intermodulación.

TDMA.

En este sistema únicamente una sola portadora en frecuencia es utilizada, el ancho de banda asociado con la portadora es el equivalente a el total del ancho de banda del transpondedor.

La única portadora es compartida en el tiempo con los demás usuarios. Usando una sola portadora los inconvenientes que presenta la linealidad del transpondedor prácticamente no existen.

Un transpondedor que utiliza totalmente TDMA tiene mayor ventaja sobre uno que utiliza FDMA ya que se opera el canal a su total potencia y se ocupa todo el ancho de banda, no hay pérdida en la utilización del espectro por no existir requerimientos de bandas de guardar. En TDMA también se tiene SCPC y MCPC.

La figura 3.10. representa la capacidad por megahertz de ancho de banda del transpondedor contra el número de accesos de las estaciones terrenas en una red particular. Esta figura ilustra la capacidad relativa de cada sistema de acceso múltiple, dependiendo de la magnitud de la red, expresado en términos de números de usuarios.

Nótese que la capacidad de SCPC es esencialmente insensible a el número de usuarios en la red. Se puede considerar como una red con una gran cantidad de usuarios con poca capacidad.

Los sistemas MCPC también se pueden considerar como la parte anterior ya que el número de accesos es muy pequeño. Cuando el número de accesos se incrementa (incrementando el número de portadoras en el FDMA) se reduce la capacidad rápidamente.

TDMA provee excelente capacidad en función del número de accesos, ya que la longitud de su estructura brinda una alta eficiencia. Nótese que con información relativamente baja, la capacidad del sistema TDMA se degrada con el número de accesos porque se reduce la capacidad debido a el encabezamiento asociado con cada nueva ráfaga añadida a el sistema. De cualquier modo para marcos de grandes tiempos, la curva del TDMA se vuelve insensible a el número de usuarios.

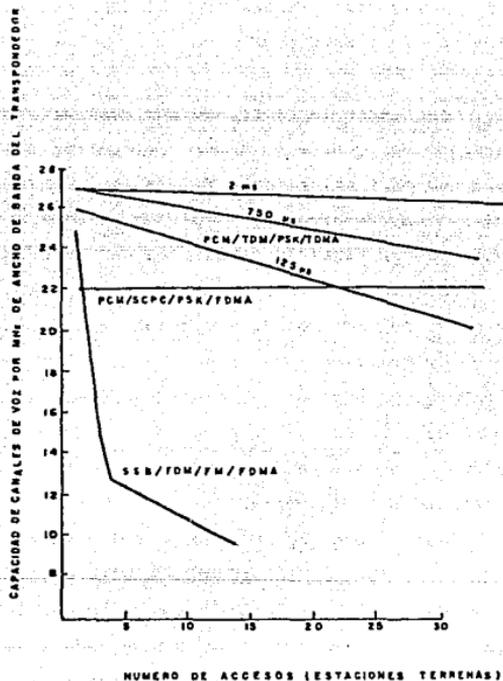


Fig. 3.10. Capacidad relativa de varios sistemas de acceso multiple.

III.5.1. CONSIDERACIONES DE SELECCION.

Para decidir que técnica de acceso es la que nos conviene para su aplicación, una serie de factores deben ser considerados.

Los factores que normalmente son usados para evaluar la efectividad del acceso múltiple para una aplicación particular son:

CAPACIDAD

La capacidad del acceso múltiple, está normalmente definido en términos del número de canales de voz y datos de una calidad específica, que pueden ser acomodados usando la potencia y el ancho de banda del transpondedor.

Usualmente se selecciona el sistema de mayor capacidad.

POTENCIA DE R.F. Y ANCHO DE BANDA.

La potencia y el ancho de banda son los recursos fundamentales de un enlace de R.F. vía satélite. La potencia y el ancho de banda disponibles en un satélite de comunicaciones se reflejan directamente en su costo.

Para usar la potencia disponible y el ancho de banda eficientemente el sistema de acceso debera ser seleccionado para que se tenga simultáneamente limitadas el ancho de banda y la potencia.

INTERCONECTIVIDAD.

La geometría de la red para varios servicios de comunicación, dicta los requerimientos de interconectividad, las redes simples de punto a punto pueden ofrecer mejor servicio a través de otros medios de transmisión, como es la fibra óptica, pero para una geometría multinode, la disponibilidad de la técnica de acceso para proveer interconectividad para varios usuarios con velocidades variables y niveles de calidad, los satélites tienen el mejor método de costo-eficiencia.

ADAPTABILIDAD AL CRECIMIENTO.

Dado que la inversión en equipo de acceso múltiple puede significar una porción del costo del sistema terrestre, se debe considerar la capacidad de que la técnica cambie y adaptar al crecimiento de tráfico y al cambio de tráfico de patrones.

ACEPTAR MÚLTIPLES SERVICIOS.

Las modernas telecomunicaciones cuentan con técnicas digitales y transmisión de multiservicios. El uso de redes digitales de servicios integrados (ISDN) implica la aplicación de múltiples servicios, tales como voz, datos y video, compartiendo las mismas facilidades de transmisión. Los accesos múltiples pueden ser diseñados para aceptar los servicios del ISDN.

INTERFASE TERRESTRE.

Facilidad de interconexión terrestre para obtener la "última-milla" entre una estación terrena y el usuario, es extremadamente importante para la efectividad del acceso múltiple, tanto económicamente como técnicamente.

Como las interconexiones digitales están disponibles, se vuelve más atractivo utilizar técnicas digitales totalmente.

SEGURIDAD DE LAS COMUNICACIONES.

En el pasado las consideraciones de seguridad en las comunicaciones se habían relegado a aplicaciones militares. Los sistemas modernos de comunicaciones, muestran una nueva faseta en la protección de sus comunicaciones, para corporaciones privadas como del Gobierno.

COSTO-EFICIENCIA.

El costo por canal de la implementación del método de acceso se debe considerar para el diseño, dado el drástico desarrollo en las técnicas digitales en años recientes y su economía brinda un incremento. Las técnicas analógicas también pueden dar un costo-eficiencia en ciertas situaciones.

IV. ECUACIONES Y CALCULOS.

IV.1. INTRODUCCION.

Cuando se diseña un enlace vía satélite es necesario calcular, la relación entre el nivel de la portadora y el nivel de la potencia de ruido, que existe a la entrada del demodulador ó decodificador, ya que el conocimiento de esta relación determinara la calidad de la información reproducida a la salida del sistema.

En estas notas se enunciarán las ecuaciones del diseño del radioenlace, en donde como objetivo final se obtendrá la relación portadora a densidad de ruido total $(C/N_0)_T$, obtenida para un enlace específico. Esto enfatiza el hecho de que el cálculo de $(C/N_0)_T$ sigue un patrón básico, no importando el servicio que se este dando (video, voz, datos, etc.), no así cuando se quiere obtener la calidad de la información recibida (S/N para transmisión analógica y BER para transmisión digital.), en donde el tipo de información y la modulación que maneje, es primordial para la obtención de una cierta calidad.

El propósito del análisis del radio-enlace, es determinar la calidad de la recepción que puede esperarse para la portadora de interés, dependiendo de las características de la señal, del satélite y también de las estaciones terrenas enlazadas.

En la figura.4.1. se observan los principales elementos de los enlaces vía satélite.

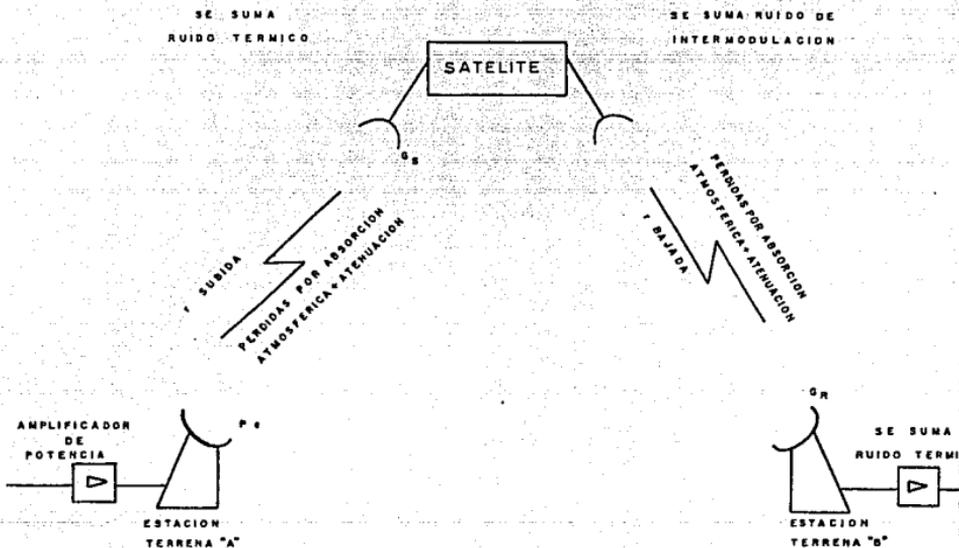


Fig. 4.1. Principales elementos de un enlace vía satélite.

IV.2. POTENCIA DE LA SEÑAL RECIBIDA.

La potencia de la señal recibida (portadora) en un receptor que tiene una antena con apertura efectiva A_{ef} , ubicada a una distancia D de un sistema transmisor que radia en forma isotrópica (patrón de radiación uniforme en todas direcciones) es:

$$C_r = \frac{P_t}{4\pi D^2} G_t A_{ef} \quad (4.1)$$

Donde la ganancia G_t es la relación que existe entre la potencia de la señal en la dirección deseada y la potencia radiada isotrópicamente.

El producto $P_t G_t$ es la potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), es decir, la potencia que emite el sistema transmisor equivale a un sistema isotrópico

Obsérvese que el nivel de la portadora recibida, esta en función de la densidad de flujo (DFS) multiplicada por el área efectiva.

Por otra parte, ya que $A_{ef} = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$ (4.2)

Entonces,

$$P_r = \frac{PIRE}{4\pi D^2} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (4.3)$$

Agrupando términos:

$$P_r = \frac{PIRE}{\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2} G_r \quad (4.4)$$

Donde G_r es la ganancia normal de la antena receptora.

Siendo $\lambda = c/f$ la longitud de onda de la señal.

El denominador de la ec. (4.4) define las pérdidas o atenuación en el espacio libre y se representa por la letra L .

$$L = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (4.5)$$

Con lo cual la portadora recibida en el receptor, será:

$$C_r = \frac{PIRE}{L} G_r \quad (4.6)$$

Para obtener la ecuación general en el radio-enlace, se debe considerar el ruido que se presenta en el mismo.

Brevemente se tratará en la siguiente sección.

IV.3. RUIDO TERMICO.

La potencia de ruido térmico (el ruido debido a variaciones aleatorias de corrientes eléctricas) por lo general, se cuantifica en términos de temperatura de ruido y es proporcional al ancho de banda disponible, es decir:

$$N = KTB \quad (4.7)$$

donde:

N = POTENCIA DE RUIDO.

K = CONSTANTE DE BOLTZMANN. 1.38×10^{-23} J/K.

T = TEMPERATURA EN °K.

B = ANCHO DE BANDA EN HERTZ.

En términos de densidad de potencia (ruido por hertz de ancho de banda):

$$N_0 = \frac{N}{B} = KT \quad (4.8)$$

Como se observa " N_0 " es independiente de la frecuencia por esa razón se le conoce como ruido blanco.

IV.4. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN FORMA GENERAL.

Dividiendo la potencia de la señal recibida ec. (4.6) entre la potencia del ruido ec.(4.7), se obtendra la relación portadora a ruido -- (C_r/N), es decir:

$$\frac{C_r}{N} = \frac{PIRE}{L} \cdot \frac{G_r}{T} \cdot \frac{1}{KB} \quad (4.9)$$

En términos de densidad de potencia (N_0):

$$\frac{C_r}{N_0} = \frac{PIRE}{L} \cdot \frac{G_r}{T} \cdot \frac{1}{K} \quad (4.10)$$

Nótese, que la relación C_r/N_0 depende de la potencia de transmisión, de la atenuación en el espacio libre, y de la relación G_r/T referida al receptor.

Este último factor se conoce como la figura de mérito y relaciona la ganancia de la antena con la temperatura de ruido del receptor y se expresa en dB/°K.

En forma general:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{PIRE}{L} \cdot \frac{G}{T} \cdot \frac{1}{K} \quad (4.11)$$

La ecuación general (4.11), expresada en decibeles queda como:

$$\frac{C}{N_0} = \text{PIRE} - L + \frac{G}{T} - K \quad (4.12)$$

Donde:

$\frac{C}{N_0}$ esta en dBHz.

PIRE en dBW.

L en dB.

$\frac{G}{T}$ en dB/°K.

$K = -228.6$ dBJ/°K.

B en dBHz.

Para comunicaciones por satélite, esta ecuación, es válida tanto para el enlace ascendente como para el descendente, al utilizar los correspondientes valores de PIRE, L y G/T.

Adicionalmente, es necesario considerar factores atmosféricos en la transmisión de la señal y apuntamiento de la antena.

IV.5. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE.

La ecuación (4.12) puede escribirse en términos de la densidad de flujo de potencia, necesaria para saturar al transpondedor, para una sola portadora.

La densidad de flujo de saturación (DFS), se presenta como:

$$DFS = \frac{PIRE}{4\gamma D^2} = \frac{PIRE}{L} \frac{4\gamma}{\lambda^2} \quad (4.13)$$

En decibeles:

$$DFS = PIRE - L + \frac{4\gamma}{\lambda^2} \quad (4.14)$$

DFS también se puede obtener de la ec.(4.1)

$$DFS = PIRE - 10 \log 4\gamma D^2 \quad (4.15)$$

Entonces:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = DFS - \frac{4\gamma}{\lambda^2} + \frac{G}{T} - K \quad (4.16)$$

En la ec. anterior $4\gamma/\lambda^2 = 4\gamma C^2 / F^2$ obteniendo su logaritmo se tendrá:

$$4\gamma C^2 / F^2 = 21.45 + 20 \log F. \text{ en GHz.}$$

Sustituyendo este valor en la ec.(4.16), se tendrá la ecuación de relación de portadora a densidad de ruido ascendente.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_a = DFS - 20 \log F + \left(\frac{G}{T}\right)_s + 207.15 - m_a \quad (4.17)$$

Donde:

C/N_0 = Es la relación de portadora recibida a densidad de ruido y se expresa en dbHz.

DFS = Densidad de flujo necesario para saturar el transpondedor del satélite, expresada en dbW/m².

$(G/T)_s$ = Figura de mérito del satélite, expresada en db/°K.

F = Frecuencia de la portadora, expresada en Gigahertz.

207.15 = Es la diferencia de la constante de Boltzman y de 21.45
 Constante de Boltzman = $10 \log 1.38 \cdot 10^{-23} = -228.6$ expresada en dbJ/°K.

m_a = Es el factor de atenuación por absorción de lluvia y apuntamiento de la antena, se expresa en db.

La figura 4.2. ilustra el concepto de DFS.

La figura 4.3. da los contornos de ganancia-recepción del sistema Morelos en la banda "C". (canales angostos 36 Mhz.)

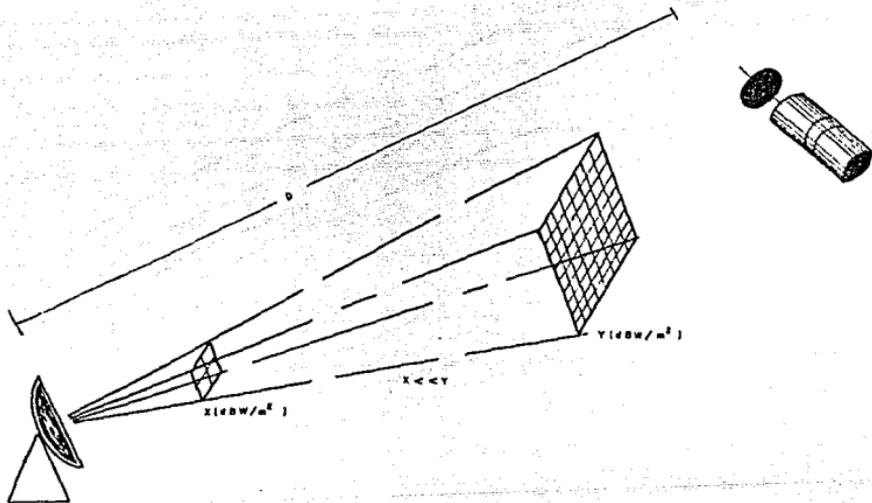


Fig. 4.2. Ilustración del concepto de DFS del transpondedor.

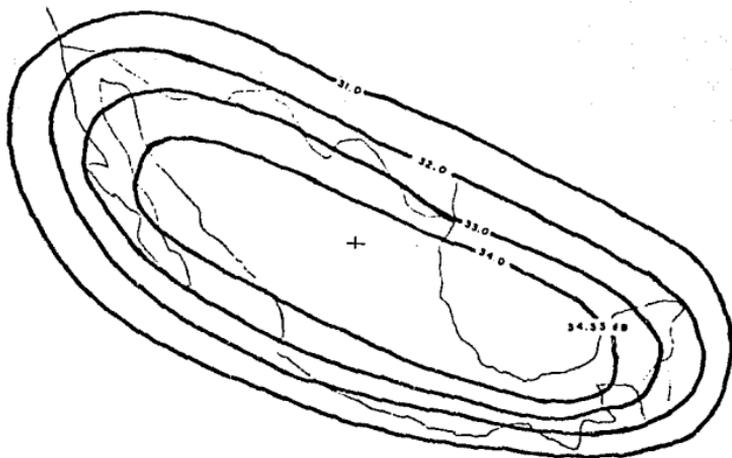


Fig. 4.3. Contorno de ganancia-recepción del sist. Morelos banda "C".
(canales angostos 36 Mhz.)

IV.6. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE PARA VARIAS PORTADORAS.

En aquellos casos en los cuales se transmiten varias portadoras en el transpondedor se deberán de tomar en cuenta los efectos de no linealidad en los amplificadores de potencia (TWT) de los transpondedores del satélite ("Back Off").

El "Back Off" es el proceso de reducir los niveles de potencia a la entrada y a la salida de un amplificador (por ejemplo de un tubo de onda de progresiva TOP), para operar en la región lineal con el objeto de reducir el ruido de intermodulación.

Si el transpondedor se opera con más portadoras, se aplica un determinado valor de "Back Off" de entrada y salida en el amplificador del transpondedor, con objeto de disminuir el ruido de intermodulación, - así mismo la potencia del transpondedor deberá distribuirse entre el número de portadoras que lo están accedando, por lo que la ecuación $(C/N_0)_a$ se modificará en el termino DFS.

Esta modificación estará en función del porcentaje o fracción de potencia a utilizar del transpondedor del satélite, lo anterior se puede realizar, debido a que al tomar en cuenta el back-off de entrada y salida se trabaja en una región casi lineal de respuesta del TWT del satélite (ver figura 4.4. curva característica de transferencia.).

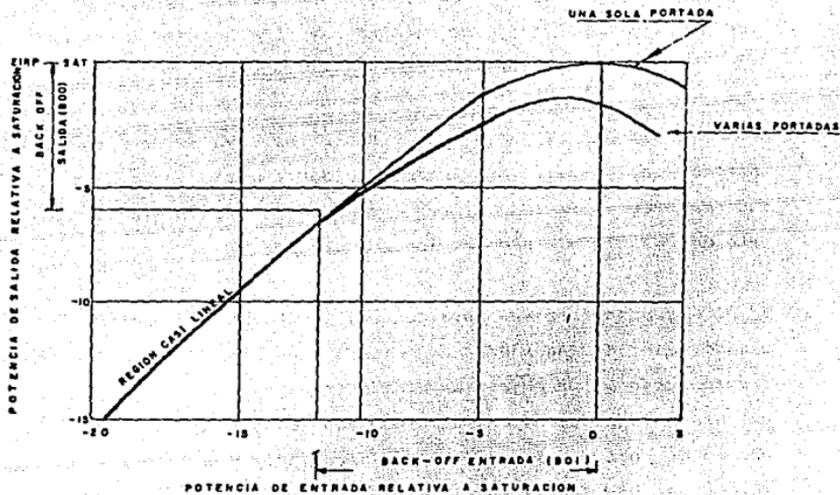


Fig. 4.4. Curva caracteristica de transferencia.

Luego entonces la modificación vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$DFSp = (DFS - BOI) + (10 \log FR) \quad (\text{dbW/m}^2) \quad (4.18)$$

Donde:

$DFSp$ = Densidad de flujo correspondiente a la portadora de interés.

DFS = Densidad de flujo de saturación del transpondedor del satélite.

BOI = Back-off de entrada al transpondedor del satélite.

FR = Fracción a utilizar de potencia del satélite. ($FR < 1$)

Por lo tanto la ecuación de $(C/N_O)_A$ para cuando solo se ocupa una fracción del transpondedor quedará:

$$\left(\frac{C}{N_O}\right)_A = DFSp - 20 \log F + \left(\frac{G}{T}\right)_S + 207.15 - m_a \quad (4.19)$$

Nótese que solo la DFS se modificó en función de la fracción de potencia a utilizar del TWT en su región casi lineal (descontando el Back-off de entrada "BOI"), los demás terminos de la ecuación quedan iguales.

IV.7. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE DESCENDENTE.

La ecuación general 4.12 incluyendo margen de atenuación por lluvia y apuntamiento quedara como:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = (PIRE)_{Sat} + \left(\frac{G}{T}\right)_{ET} + 228.6 - L - md \quad (4.20)$$

Donde:

C/N_0 = Es la relación de portadora recibida a densidad de ruido y se expresa en dbHz.

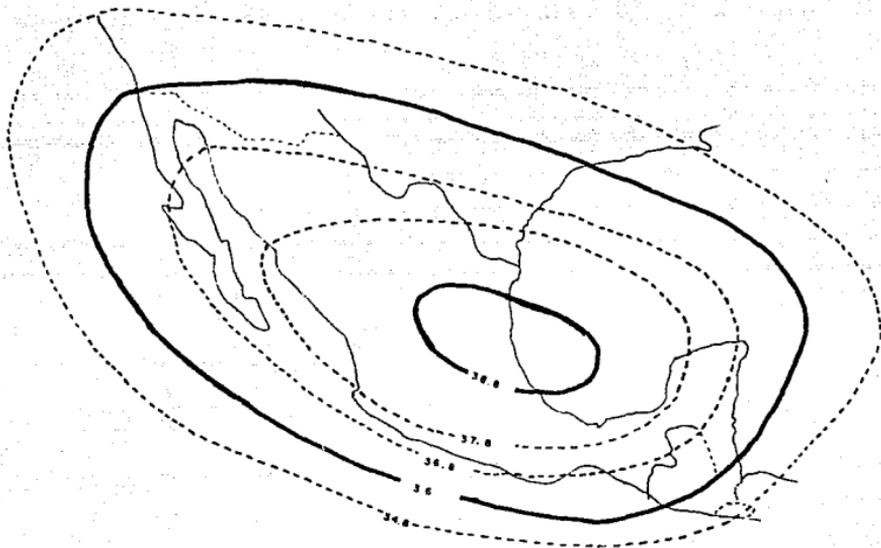
$(PIRE)_{Sat}$ = Potencia isotrópicamente radiada efectiva en saturación del satélite, expresada en dbW. En la fig.4.5 se observa el contorno de $(PIRE)_{Sat}$ del sist. Morelos en banda "C" para los canales angostos (36 MHz)

$(G/T)_{ET}$ = Figura de mérito de la estación terrena receptora expresada en db/°K.

228.6 = Es la constante de Boltzman $K = 10 \log 1.38 \cdot 10^{-23} = -228.6$ expresada en dbJ/°K.

md = Es el factor de atenuación por absorción de lluvia y apuntamiento de la antena, se expresa en db.

L = Pérdidas por espacio libre en la trayectoria de bajada.



**Fig. 4.5. Contornos de PIRE (dbw) del sistema Morelos banda "C".
para canales angostos (36 Mhz).**

Como L se calcula de la siguiente forma:

$$L = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2$$

Donde:

D = Distancia de la estación terrena receptora al satélite.

λ = Longitud de onda de la señal = C/F

Expresada en decibeles L queda:

$$L = 20 \log (4\pi D F/C)$$

Desarrollando el termino anterior, se tendra:

$$L = 92.45 + 20 \log D \text{ (Km)} + 20 \log F \text{ (GHz)}. \quad (4.21)$$

**IV.8. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO EN EL ENLACE DESCENDENTE
PARA VARIAS PORTADORAS.**

Cuando se usa sólo una fracción de la potencia y ancho de banda de la totalidad del transpondedor (compartido el transpondedor con otras portadoras), se tendrá que modificar el PIRE de la ecuación 4.20, en función del porcentaje o fracción de potencia a utilizar del transpondedor, lo anterior después de haber aplicado el Back-Off de salida del TWT del satélite, para de esta manera operar en una región casi lineal.

Nótese que la misma fracción que se aplica en la ecuación 4.18, se aplica al PIRE de salida del satélite ya que es la misma señal, por lo tanto, la modificación del PIRE es:

$$(PIREp)_{Sat} = (PIRE)_{Sat} - BOO + (10 \log FR) \quad (dBW) \quad (4.22)$$

Donde:

$(PIREp)_{Sat}$ = Potencia isotrópicamente radiada efectiva para la portadora de interés.

$(PIRE)_{Sat}$ = Potencia isotrópicamente radiada efectiva en saturación del transpondedor del satélite.

BOO = Back-off de salida del transpondedor del satélite

FR = Fracción a utilizar del satélite (FR < 1)

De lo anterior, la ecuación del $(C/N_o)_d$ para cuando se usa una fracción del transpondedor, quedara como:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = (PIREP)_{Sat} + \left(\frac{G}{T}\right)_{ET} + 228.6 - L - md \quad (4.23)$$

IV.9. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO DE INTERMODULACION.

Debido a la característica no lineal del TWT del transpondedor del satélite, cuando se presentan varias portadoras se producen productos de intermodulación entre las portadoras, afectando la calidad de la transmisión.

A estos productos de intermodulación se les dá el nombre de ruido de intermodulación, y se pueden observar en la figura 4.6

La relación portadora a ruido de intermodulación se calcula de acuerdo a las figuras 4.7 y 4.8, tomando como base el "Back Off" de salida del amplificador

Debe advertirse que en las figuras 4.7 y 4.8 la relación portadora a ruido de intermodulación está dada en dB; por lo tanto, es necesario hacer la corrección para que las unidades sean dB-Hz (densidad de ruido de intermodulación).

Esta corrección se hace aplicando la siguiente fórmula:

$$(C/N_o)_i = (C/N)_i + 10 \log BWFI \quad (\text{dB-Hz}) \quad (4.24)$$

Donde:

$(C/N_o)_i$ = Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación.

$(C/N)_i$ = Relación portadora a ruido de intermodulación.

$BWFI$ = Ancho de banda de frecuencia intermedia.

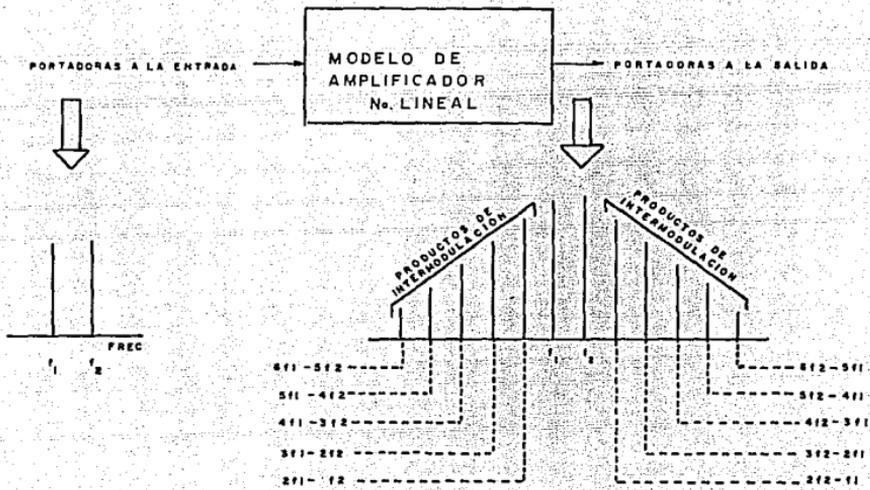


Fig. 4.6. Productos de intermodulación en el TWT del transpondedor.

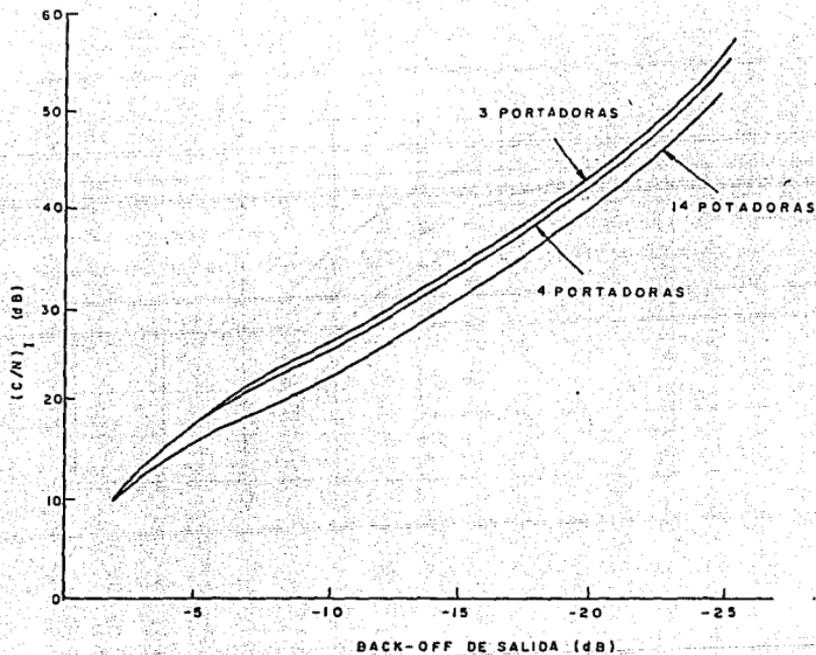


Fig. 4.7. Portadora a ruido de intermodulacion contra back-off.

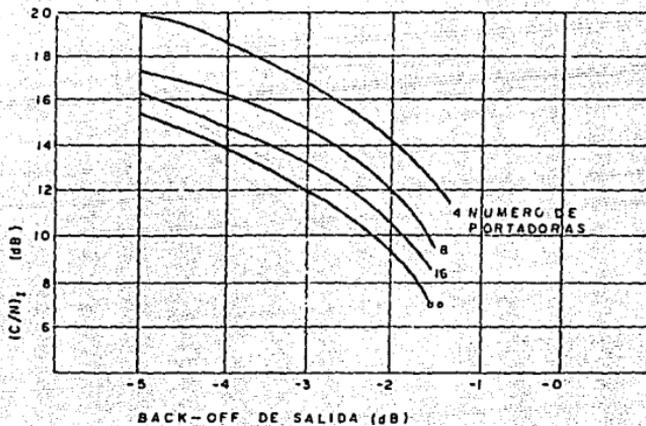


Fig. 4.8. Portadora a ruido de intermodulacion contra back-off.

IV.10. RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO TOTAL DEL SISTEMA.

La relación portadora a densidad de ruido total $(C/N_o)_T$, esta en función de $(C/N_o)_a$, $(C/N_o)_d$ Y $(C/N_o)_i$.

Esta relación portadora a densidad de ruido total, esta dada por la siguiente expresión.

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_T = 10 \log \frac{1}{\text{Antilog} \frac{(C/N_o)_a}{10} + \text{Antilog} \frac{(C/N_o)_d}{10} + \text{Antilog} \frac{(C/N_o)_i}{10}} \quad (4.25)$$

Las unidades de $(C/N_o)_T$ son dB-Hz.

Esta ecuación se aplica para el diseño de cálculos de enlace y nos permite evaluar la calidad total de un sistema, libre de interferencias de otros satélites.

IV.11. OPTIMIZACION DEL ENLACE TOTAL

Al transmitir desde la estación terrena menor potencia que la potencia requerida para saturar el transpondedor, la relación portadora a ruido de intermodulación aumentará, sin embargo las relaciones portadora a ruido ascendente y descendente disminuirán.

La figura 4.9 muestra las curvas de las relaciones portadora a densidad de ruido y el punto óptimo de "Back Off" para obtener un valor máximo de $(C/N_o)_T$, con un punto óptimo de operación del TWT

IV.12. RELACION PORTADORA A RUIDO TOTAL.

Algunas veces es usual expresar la relación portadora a densidad de ruido total, en función de un cierto ancho de banda determinado, lo cual se calcula con la siguiente relación.

$$(C/N)_T = (C/N_o)_T - 10 \log BWIF \quad (4.26)$$

donde:

BWIF = Es el ancho de banda de frecuencia intermedia ocupado por la portadora de interés, dado en hertz, ya que (C/N_o) está dado en dB-Hz.

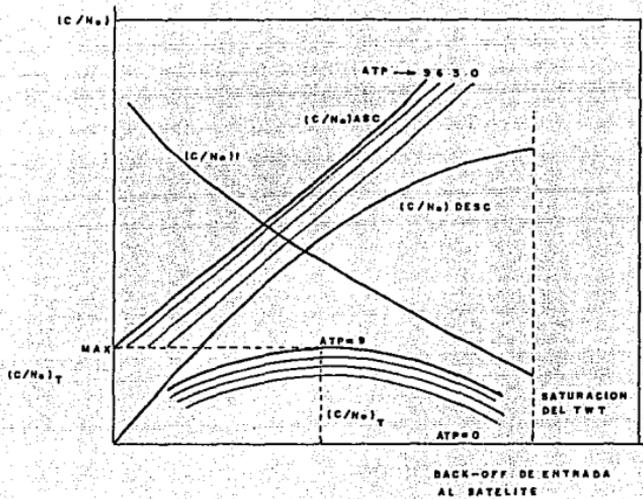


Fig. 4.9. Punto optimo de operación del TWT.

IV.13. CALCULO DE LA POTENCIA DE SALIDA DEL HPA DE LA ESTACION TERRENA TRANSMISORA.

A partir de la densidad de flujo requerida para trabajar el satélite en un enlace específico, se puede calcular la potencia en Watts que deberá entregar a la salida el "Amplificador de alta potencia" llamado comúnmente HPA que corresponden a las siglas en inglés (High Power Amplifier).

Para el cálculo de esta potencia se procede de la siguiente manera:

- a) Primero se calcula el PIRE entregado por la antena de la estación terrena, en función de la densidad de flujo requerida ya anteriormente calculada.

Este PIRE se calcula como:

$$(PIRE)_{ET} = DFS + 10 \log (4\pi D^2) \quad (4.27)$$

Donde:

DFS = Densidad de flujo dado en dBw/m^2

D = Distancia al satélite de la estación terrena en metros

- b) Segundo se calcula el HPA requerido de la estación terrena en función del PIRE valuado en la antena.

Este HPA se calcula:

$$\text{HPA} = (\text{PIRE})_{\text{ET}} - G + L_{\text{ET}} + \text{BO}_{\text{HPA}} \quad (\text{dBw}) \quad (4.28)$$

Donde:

$(\text{PIRE})_{\text{ET}}$ = Potencia isotrópicamente radiada efectiva de la estación terrena.

G = Ganancia de la antena transmisora.

L_{ET} = Pérdidas que sufre la señal hasta antes de ser radiada por la antena, en la Estación Terrena. (Guías de onda, Diplexores, etc.)

BO_{HPA} = "Back Off" de salida del HPA (para el caso de varias portadoras).

c) Por último, se calcula el HPA en watts.

$$\text{HPA} = \text{antilog} \frac{\text{HPA (dBw)}}{10} \quad (\text{Watts}) \quad (4.29)$$

IV.14. CALCULO DE UN ENLACE.

Para observar el manejo de las ecuaciones anteriores, se procedera a realizar el cálculo del enlace del CENACE al CCA-8 (Peninsular).

Este cálculo se realizará sobre un circuito de datos.

Enlace:	CENACE	CCA-8 (PENINSULAR)
---------	--------	--------------------

Datos Geográficos:

Latitud.	19.32°	20.93°	(N)
Longitud.	99.21°	89.63°	(W)
ASN.M.	2.310	0.009	(Km)
Zona.	CENTRO	YUCATAN	

Datos estaciones terrenas:

Diámetro antenas.	5.5	6.2	(m)
Ganancia.	48.77	49.80	(dbi)
Figura de Mérito.	26.0	27.0	(db/K)

Datos del satélite:

PIRE del satélite en saturación.	38.25	38.55	(dbw)
Densidad de Flujo de Saturación.	-92.20	-91.70	(dbw/m ²)
Figura de Mérito del satélite.	6.40	5.90	(db/K)
Atenuador de posición.		0.0	(db)

Back-Off de entrada al satélite.	11.0	(db)
Back-Off de salida del satélite.	6.0	(db)

Datos de la red:

Número de canales totales de la red.	1600	
Factor de actividad.	100%	
Numero de canales transmitidos por la estación terrena.	3	
Espaciamiento entre canales.	22.5	(Khz)

Datos de frecuencias y márgenes de lluvia:

Frecuencia portadora ascendente.	6.405	(Ghz)
Frecuencia portadora descendente.	4.180	(Ghz)
Porcentaje de confiabilidad.	99.8%	
Margen de lluvia ascendente.	4.2	6.0 (db)
Margen de lluvia descendente.	2.2	4.0 (db)

Datos de la señal:

Velocidad de transmisión.	9.6	(kb/s)
Modulación.	QPSK	
Ancho de banda de FI.	5.8	(Khz)
Bit error rate (BER).	10^{-6}	

IV.14.1. ENLACE CENACE-CCA 8

MEMORIA DE CALCULO.

IV.14.1.1. Cálculo de las distancias.

Los cálculos de la distancia de la estación terrena al satélite, así como los del ángulo de elevación de cada una de ellas se encuentran al final en los anexos.

Para este enlace las distancias son:

$l_1 = 36317.43$ Km. Distancia que hay entre el satélite y CENACE.

$l_2 = 36866.82$ Km. Distancia que hay entre el satélite y CCA 8

IV.14.1.2. Cálculo de $(C/N_0)_A$

En el caso de SCPC es necesario calcular, la cantidad de densidad de flujo requerida por canal SCPC de entrada al satélite, y el PIRE del satélite por canal SCPC, para hacerlo procederemos de la siguiente forma:

Primero, se calcula el número de canales activos que estarían presentes en forma simultánea en el transpondedor del satélite, de la forma siguiente:

$$NCA = (NCTR) \cdot (F.A.) \quad (4.30)$$

Donde

NCA = Número de canales activos.

NCTR = Número de canales totales de la red o ranuras disponibles en el transpondedor.

F.A. = Factor de actividad.

Sustituyendo los datos antes tabulados en la ecuación (4.30).

$NCA = (1600) \cdot (1) = 1600$ canales activos.

Por lo tanto el cálculo de la DFSp queda:

$$FR = 1/1600 = 6.25 \times 10^{-4}$$

Aplicando la ecuación (4.18).

$$DFSp = (-92.2 - 11) + 10 \log 6.25 \times 10^{-4}$$

$$DFSp = -135.24 \text{ dBw/m}^2.$$

Sustituyendo en la ec. $(C/N_o)_A$ ec. (4.19).

$$(C/N_o)_A = -135.24 + 6.4 - 20 \log 6.405 + 207.15 - 4.2$$

$$(C/N_o)_A = 57.98 \text{ dB-Hz}$$

IV.14.1.3. Cálculo de $(C/N_o)_d$.

Aplicando las ecuaciones 4.21, 4.22 y 4.23 queda:

$$(PIREp)_{Sat} = (38.55 - 6) + 10 \log. 6.25 \times 10^{-4}$$

$$(PIREp)_{Sat} = 0.51 \text{ dBw.}$$

$$L = 92.45 + 20 \log. 4.180 + 20 \log. (36866.82)$$

$$L = 196.2 \text{ dB.}$$

$$(C/N_o)_d = 0.51 + 27 - 196.2 + 228.6 - 4$$

$$(C/N_o)_d = 55.91 \text{ dB-Hz.}$$

IV.14.1.4. Cálculo de $(C/N_o)_i$.

En este caso utilizaremos un valor de $(C/N)_i = 20.0 \text{ db}$ que se obtiene de las figuras 4.6 y 4.7 relación de portadora a ruido de intermodulación contra el back off de salida.

$$(C/N_o)_i = (C/N)_i + 10 \log. BWFI$$

$$(C/N_o)_i = 20.0 + 10 \log. 5.8 \times 10^3$$

$$(C/N_o)_i = 57.63 \text{ dB-Hz}$$

IV.14.1.5. Cálculo de $(C/N_o)_T$.

Aplicando la ecuación (4.25) queda:

$$(C/N_o)_T = 10 \log. \left(\frac{1}{\text{antilog. } 5.798} \cdot \frac{1}{\text{antilog. } 5.591} \cdot \frac{1}{\text{antilog. } 5.763} \right)$$

$$(C/N_o)_T = 52.30 \text{ dB-Hz.}$$

IV.14.1.6. Cálculo de $(C/N_o)_R$.

Después de haber obtenido el $(C/N_o)_T$ se calculará el $(C/N_o)_R$ el cual es la relación portadora a densidad de ruido requerida, para obtener un BER de 10^{-6} especificado en los datos para la señal, por medio de la ecuación (4.31).

$$(C/N_o)_R = E_b/N_o + 10 \log BR + MI \quad (4.31)$$

Donde:

E_b/N_0 = Energía/bit por hertz.

BR = Velocidad de bits de información.

MI = Margen de implementación = 1.5 dB. (valor típico promedio).

El valor de E_b/N_0 , puede calcularse a partir de la curva en la figura 3.7 donde para un BER de 10^{-6} corresponde un valor de 10.6 dB.

Nótese, que esta curva es ideal por lo cual en la ecuación de $(C/N_0)_R$ se suma un margen de implementación.

Sustituyendo datos en la ecuación (4.31).

$$(C/N_0)_R = 10.6 + 10 \log .96 \times 10^3 + 1.5$$

$$(C/N_0)_R = 51.92 \text{ dB-Hz.}$$

IV.14.1.7. Comparación de $(C/N_0)_T$ con $(C/N_0)_R$.

De esta comparación se deduce si el enlace operará correctamente.

Comparando $(C/N_0)_R$ con $(C/N_0)_T$ obtenido del radio enlace se visualiza que:

$$(C/N_0)_T > (C/N_0)_R \quad \text{es decir } 52.30 > 51.92$$

De esto se deduce que nuestro enlace operará correctamente.

Los valores de PIRE, DFS y G/T se obtienen de los parámetros del segmento espacial para diferentes localidades, tablas 4.1 a 4.4

Los valores de márgenes de lluvia en dB para diferentes zonas geográficas y confiabilidades se presenta en la tabla 4.5 .

Apoyando las tablas anteriores se encuentra la figura 4.10 que indica las zonas geográficas en que se divide el país.

La figura 4.11 G/T del sistema vs. ganancia de la antena, sirve para obtener el valor de temperatura de ruido del sistema.

IV.14.1.8. Cálculo del BPA.

De la ecuación (4.27)

$$PIRE_{ET} = -135.24 + 10 \log. (4 \pi (36317.43 \times 10^3)^2)$$

$$PIRE_{ET} = 26.95 \text{ dBw}$$

De la ecuación (4.28)

$$HPA = 26.95 - 47.9 + 3 + 6$$

$$HPA = -11.95 \text{ dBw}$$

Convertiendo a watts, usando la ecuación (4.29)

$$HPA = 0.064 \text{ watts por canal}$$

Como estamos transmitiendo 3 canales:

$$HPA = 0.064 \times 3$$

$$HPA = 0.192 \text{ watts para 3 canales SCPC.}$$

IV.14.2. ENLACE CCA 8-CENACE.

MEMORIA DE CALCULO.

IV.14.2.1. Cálculo de las distancias.

Los cálculos de la distancia de la estación terrena al satélite, así como los del ángulo de elevación de cada una de ellas se encuentran al final en los anexos.

Para este enlace las distancias son:

$l_1 = 36317.43$ Km. Distancia que hay entre el satélite y CENACE.

$l_2 = 36866.82$ Km. Distancia que hay entre el satélite y CCA 8

IV.14.2.2. Cálculo de $(C/N_0)_a$

En el caso de SCPC es necesario calcular la cantidad de densidad de flujo requerida, por canal SCPC de entrada al satélite, y el PIRE del satélite por canal SCPC, para hacerlo procederemos de la siguiente forma:

Primero se calcula el número de canales activos que estarán presentes en forma simultánea en el transpondedor del satélite de la siguiente manera:

$$NCA = (NCTR) \cdot (F.A) \quad (4.30)$$

Donde

NCA = Número de canales activos.

NCTR = Número de canales totales de la red o ranuras disponibles en el transpondedor.

F.A. = Factor de actividad.

Sustituyendo los datos antes tabulados en la ecuación (4.30).

$NCA = (1600) \cdot (1) = 1600$ canales activos.

Por lo tanto el cálculo de la DFSp queda:

$$FR = 1/1600 = 6.25 \times 10^{-4}$$

Aplicando la ecuación (4.18).

$$DFSp = (-91.7 - 11) + 10 \log 6.25 \times 10^{-4}$$

$$DFSp = -134.74 \text{ dbw/m}^2.$$

Sustituyendo en la ec. $(C/N_o)_a$ ec. (4.19).

$$(C/N_o)_a = -134.74 + 5.9 - 20 \log 6.405 + 207.15 - 6$$

$$(C/N_o)_a = 56.18 \text{ db-Hz}$$

IV.14.2.3. Cálculo de $(C/N_0)_d$.

Aplicando las ecuaciones 4.21, 4.22 y 4.23 queda:

$$(PIREp)_{Sat} = (38.25 - 6) + 10 \log_6 6.25 \times 10^{-4}$$

$$(PIREp)_{Sat} = 0.21 \text{ dBw.}$$

$$L = 92.45 + 20 \log_4 4.180 + 20 \log (36317.43)$$

$$L = 196.07 \text{ dB.}$$

$$(C/N_0)_d = 0.21 + 26 - 196.07 + 228.6 - 2.2$$

$$(C/N_0)_d = 56.54 \text{ dB-Hz.}$$

IV.14.2.4. Cálculo de $(C/N_0)_i$.

En este caso utilizaremos un valor de $(C/N)_i = 20.0 \text{ db}$ que se obtiene de las figuras 4.6 y 4.7 relación de portadora a ruido de intermodulación contra el back-off de salida.

$$(C/N_0)_i = (C/N)_i + 10 \log_3 BWFI$$

$$(C/N_0)_i = 20.0 + 10 \log_3 5.8 \times 10^3$$

$$(C/N_0)_i = 57.63 \text{ db-Hz}$$

IV.14.2.5. Cálculo de $(C/N_o)_T$.

Aplicando la ecuación (4.25) queda:

$$(C/N_o)_T = 10 \log. \left(\frac{1}{\text{antilog. } 5.618} \cdot \frac{1}{\text{antilog. } 5.654} \cdot \frac{1}{\text{antilog. } 5.763} \right)$$

$$(C/N_o)_T = 51.97 \text{ db-Hz.}$$

IV.14.2.6. Cálculo de $(C/N_o)_R$.

Después de haber obtenido el $(C/N_o)_T$ se calculará el $(C/N_o)_R$ el cual es la relación portadora a densidad de ruido requerida, para obtener un BER de 10^{-6} especificado en los datos para la señal, por medio de la siguiente ecuación.

$$(C/N_o)_R = E_b/N_o + 10 \log BR + MI \quad (4.31)$$

Donde:

E_b/N_o = Energía/bit por hertz.

BR = Velocidad de bits de información.

$MI = 1.5 \text{ db}$ = Margen de implementación (valor típico promedio).

El valor de E_b/N_o puede calcularse a partir de la curva en la figura 3.7 donde para un BER de 10^{-6} corresponde un valor de 10.6 dB.

Nótese que esta curva es ideal por lo cual en la ecuación de $(C/N_o)_R$ se suma un margen de implementación.

Sustituyendo datos, en la ecuación (4.31).

$$(C/N_o)_R = 10.6 + 10 \log. 9.6 \times 10^3 + 1.5$$

$$(C/N_o)_R = 51.92 \text{ dB-hz.}$$

IV.14.2.7. Comparación de $(C/N_o)_T$ con $(C/N_o)_R$.

De esta comparación se deduce si el enlace operará correctamente.

Comparando $(C/N_o)_R$ con $(C/N_o)_T$ obtenido del radio enlace se visualiza que:

$$(C/N_o)_T > (C/N_o)_R \quad \text{es decir } 51.97 > 51.92$$

De esto se deduce que nuestro enlace operará correctamente.

Los valores de PIRE, DFS y G/T se obtienen de los parámetros del segmento especial para diferentes localidades, tablas 4.1 a 4.4 .

Los valores de márgenes de lluvia en dB para diferentes zonas geográficas y confiabilidades se presenta en la tabla 4.5 .

Apoyando las tablas anteriores se encuentra la figura 4.10 que indica las zonas geográficas en que se divide el país.

La figura 4.11 G/T del sistema vs. ganancia de la antena sirve para obtener el valor de temperatura de ruido del sistema.

IV.14.2.8. Cálculo del HPA.

De la ecuación (4.27)

$$PIRE_{ET} = -134.24 + 10 \log_{10} (4 \pi (36866.82 \times 10^3)^2)$$

$$PIRE_{ET} = 28.09 \text{ dBw}$$

De la ecuación (4.28)

$$HPA = 28.09 - 49.8 + 3 + 6$$

$$HPA = -12.71 \text{ dBw}$$

Convirtiendo a watts, usando la ecuación (4.29)

$HPA = 0.054$ watts por canal

Como estamos transmitiendo 3 canales:

$HPA = 0.054 \times 3$

$HPA = 0.161$ watts para 3 canales SCPC.

IV.14.3. ENLACE DE CANALES DE VOZ.

Para los enlaces de voz se siguen los mismos pasos que para los enlaces de datos, solamente se debe considerar que el factor de actividad será de un 40% debido a que no se está utilizando el 100% del tiempo.

Tipo de modulación digital ADPCM.

La velocidad de transmisión será de 32 Kb/s.

Ancho de banda de FI sera de 19.2 KHz.

Modulación QPSK.

Tasa de bit erróneos (BER) de 10^{-4}

Los valores de PIRE, DFS y G/T se obtienen de los parámetros del segmento espacial para diferentes localidades. tablas 4.1 a 4.4 .

Los valores de márgenes de lluvia en dB para diferentes zonas geográficas y confiabilidades se presenta en la tabla 4.5 .

Apoyando las tablas anteriores se encuentra la figura 4.10 que indica las zonas geográficas en que se divide el país.

La figura 4.11 G/T del sistema vs. ganancia de la antena sirve para obtener el valor de temperatura de ruido del sistema.

PARÁMETROS DEL SEÑALAMIENTO ESPACIAL PARA DIFERENTES LOCALIDADES

LOCALIDAD	ZONA DE BANDA FIJA	COORDENADAS			TRANSMISIÓN BANDA C			TRANSMISIÓN BANDA L		
		LONGITUD	LATITUD	ASIM (RM)	PIRE (dB)	O F S (dB/MZ)	U F (dB)	PIRE (dB)	O F S (dB/MZ)	U F (dB)
MEXICO, D.F.	CENTRO	99.01	19.35	1.233	39.25	-92.20	6.40	40.77	-89.46	3.15
AGUASCALIENTES, APO.	NORTE CEN.	102.3	21.86	1.874	39.25	-92.51	6.71	40.92	-89.61	3.20
CAMPECHE, CAM.	YUCATAH	90.48	19.65	0.609	39.75	-92.51	6.71	41.15	-89.08	2.75
CANCUN, Q. ROO	YUCATAH	89.85	21.09	0.605	37.85	-91.30	5.50	40.89	-89.49	1.15
C. VICTORIA, TAMP.	GOLFO NOR.	99.13	23.75	0.321	37.52	-92.20	6.40	40.77	-87.99	2.65
CHETUMAL, Q. ROO	YUCATAH	88.28	18.50	0.090	39.25	-91.80	6.00	40.92	-87.68	2.35
CHIHUAHUA, CHIH.	NORTE CEN.	106.06	28.65	1.433	37.6	-92.20	6.40	40.77	-89.68	3.35
CHILPANCIINGO, GRO.	CENTRO	99.5	17.55	1.360	37.85	-90.80	5.00	40.29	-87.98	2.65
COLIMA, COL.	PACIFICO CENTRO	103.73	19.23	0.494	37.85	-90.80	5.00	39.99	-87.78	2.45
CUENAVACA, MUR.	CENTRO	99.23	18.92	1.560	39.15	-91.80	6.00	40.73	-89.39	3.05
CULIACAN, SIN.	NORTE CEN.	107.4	24.82	0.040	37.95	-92.56	6.76	41.00	-89.66	3.33
DURANGO, DGO.	NORTE CEN.	104.67	24.02	1.885	39.15	-92.56	6.76	41.07	-89.72	3.39
GUADALAJARA, JAL.	PACIFICO CENTRO	103.39	20.72	1.594	39.25	-92.20	6.40	40.77	-89.48	3.15
HERMOSILLO, SON.	NOROCCIDENT.	100.97	29.07	0.211	37.95	-92.51	6.71	41.15	-89.97	3.64

* TODOS LOS VALORES AQUÍ MOSTRADOS SON PROMEDIOS EL ATENUADOR DE POSICION EN DB.

Tabla 4.1. Parámetros del señalamiento espacial para varias localidades.

PARÁMETROS DEL SEGMENTO ESPACIAL PARA DIFERENTES LOCALIDADES

LOCALIDAD	ZONA GEOGRÁFICA	COORDENADAS			TRANSPONDERS BANDA C ANGUSTOS			TRANSPONDERS BANDA C ANPLIOS		
		LONG	LAT	ASAM (KM)	PIRE dB	D F S dB/m ²	G/T dB/K	PIRE dB	D F S dB/m ²	G/T dB/K
JALAPA, VER.	GOLFO NORIE	96.92	19.55	1.399	39.51	-92.45	6.65	40.59	-89.73	3.4
LEON, BJO.	CENTRO	101.25	21.07	1.999	39.15	-92.49	6.59	40.85	-89.54	3.21
LA PAZ B.C.S.	MOROCCIDENTE	110.37	24.15	0.032	37.75	-92.30	6.50	40.69	-89.18	2.95
MÉRIDA, YUC.	YUCATAAN	89.63	20.93	0.009	39.55	-91.70	5.90	40.87	-89.98	1.65
MEXICALI, B.C.N.	MOROCCIDENTE	115.45	32.65	0.045	37.15	-91.10	5.3	40.19	-89.61	3.29
MONTERREY, N.L.	NORTE CENTRO	100.3	25.68	0.512	37.60	-92.30	6.50	40.87	-89.69	3.35
MORELIA, MICH.	CENTRO	101.18	19.7	1.912	39.05	-91.70	5.90	40.69	-89.29	2.95
OXACA, OAX.	CENTRO	96.73	17.07	1.550	39.15	-91.20	5.40	40.49	-89.18	2.85
PACHUCA, HGO.	CENTRO	99.73	20.13	2.417	39.45	-92.45	6.65	40.92	-89.61	3.29
PUEBLA, PUE.	CENTRO	99.20	19.03	2.162	39.35	-92.10	6.30	40.77	-89.48	3.15
QUERÉTARO, QRO.	CENTRO	100.41	20.53	1.900	39.20	-92.40	6.50	40.87	-89.69	3.35
SALILLO, COAH.	NORTE CENTRO	100.99	25.42	1.609	39.15	-92.62	6.92	41.45	-89.85	3.52
SAN LUIS POTOSÍ	NORTE CENTRO	100.59	22.15	1.570	39.50	-92.56	6.76	41.07	-89.85	3.52
TEPIC, NAY.	PACIFICO CEN.	104.90	21.52	0.922	37.85	-92.10	6.30	40.69	-89.28	2.96

1000S LOS VALORES ANTI MOSTRADOS SON PROMEDIOS
EL ATENUADOR DE POSICION EN DB.

Tabla 4.2. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.

PARÁMETROS DEL SEGMENTO ESPACIAL PARA DIFERENTES LOCALIDADES

LOCALIDAD	ZONA GEOGRÁFICA	COORDENADAS			TRANSPONDERS BANDA C AMPLIOS			TRANSPONDERS BANDA C AMPLIOS		
		LONGITUD	LATITUD	ASNU (km)	PIRE dBW	D F S dBW/m2	G/T dB/K	PIRE dBW	D F S dBW/m2	G/T dB/K
TIJUANA, B.C.M.	NOROCCIDENTE	117.63	32.52	0.055	37.15	-91.10	5.30	40.19	-89.54	13.21
TLATECALA, TLAX.	CENTRO	96.23	19.32	2.240	39.50	-92.40	6.60	40.88	-89.61	13.28
TOLUCA, EDO. MEX.	CENTRO	99.67	19.28	2.720	39.25	-92.10	6.30	40.50	-89.48	13.15
TUXILA GIZ, CHIS.	TISSO	93.12	16.75	0.530	39.60	-91.70	5.90	40.42	-89.43	13.1
VILLAHERRADA, TAB.	TISSO	92.95	17.98	0.610	39.75	-92.00	6.20	40.87	-87.28	13.95
ZACAPECAS, ZAC.	NORTE CENTRO	102.58	22.78	2.612	38.35	-92.53	6.73	41.07	-89.73	13.40
ACAPULCO, GRO.	PACIFICO CEN.	99.93	16.83	0.028	37.55	-90.20	4.40	39.59	-87.68	12.35
CD. JUAREZ, CHIH.	NORTE CENTRO	106.48	31.73	1.135	36.65	-91.30	5.50	40.30	-87.98	12.65
COATEPECALCOS, VER.	TISSO	94.41	18.15	0.014	38.67	-92.50	6.70	40.92	-89.72	13.39
MAIAMPOROS, TAMP.	GOLFO NORIE	97.51	25.88	0.012	37.75	-92.53	6.73	41.07	-88.28	12.95
MAZATLAN, SIN.	PACIFICO CEN.	106.41	23.20	0.003	37.95	-92.53	6.73	40.86	-89.54	13.21
TAMPICO, TAMP.	GOLFO NORIE	97.85	22.21	0.012	38.67	-92.76	6.96	41.29	-89.97	13.64
TAPACHULA, CHIS.	TISSO	92.26	14.91	0.182	38.05	-90.80	5.0	40.09	-87.89	12.65
TORREON, COAH.	NORTE CENTRO	103.45	25.53	1.013	38.05	-92.81	7.01	41.32	-89.97	13.64
VERACRUZ, VER.	CENTRO	96.13	19.20	0.016	38.67	-90.53	6.73	40.95	-89.72	13.39
ZAMORA, MICH.	PACIFICO CEN.	102.29	20.00	1.540	37.85	-91.80	6.0	40.60	-88.18	12.85

* TODOS LOS VALORES AQUÍ MOSTRADOS SON PROMEDIOS.
EL ATENUADOR DE POSICION SOB.

Tabla 4.3. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.

PARÁMETROS DEL SEGMENTO ESPACIAL PARA DIFERENTES LOCALIDADES

LOCALIDAD	ZONA GEOGRÁFICAS	COORDENADAS			TRANSPONDERS BANDA C AMPLIOS			TRANSPONDERS BANDA C AMPLIOS		
		LONGITUD (°W)	LATITUD (°N)	ASIMUTIA (°M)	PIRE dBμ	D F S dB/m2	G/T dB/K	PIRE dBμ	D F S dB/m2	G/T dB/K
VERACRUZ, VER.	CENTRO	96.13	19.2	0.015	39.67	-92.53	6.73	40.93	-89.72	3.99
ZAMORA, MICH.	PACIFICO CEN.	102.29	20.0	1.540	37.85	-91.9	6.00	40.60	-89.18	2.85
AUSTIN, IEX.	E.U.A.	97.5	30.0		35.55	-87.40	1.60	9.17	-95.35	1.02
DALLAS, IEX.	E.U.A.	96.5	32.5		34.10	-83.40	-2.40	37.34	-84.56	-0.82
HOUSTON, IEX.	E.U.A.	96.0	29.5		35.90	-87.40	1.60	39.32	-85.55	0.229
LOS ANGELES, CAL.	E.U.A.	118.4	33.5		36.55	-89.90	4.10	40.52	-89.158	2.82
MIAMI, FLO.	E.U.A.	81.0	26.0		31.95	-83.40	-2.40	36.84	-90.85	-4.40
NUOVA ORLEANS S. LOUIS	E.U.A.	90.0	30.0		34.70	-89.90	3.10	39.37	-82.35	-2.72
PHOENIX, ARIZONA	E.U.A.	112.2	33.0		36.75	-90.20	4.40	40.72	-87.16	1.82
SAN ANTONIO TEX.	E.U.A.	98.5	29.0		36.40	-89.79	3.93	40.02	-87.35	2.02
SAN DIEGO, CAL.	E.U.A.	117.8	32.8		36.75	-90.50	4.70	40.67	-89.35	3.02
SAN FRANCISCO, CAL.	E.U.A.	122.0	37.6		34.00	-87.00	1.20	36.62	-87.16	1.82

* TODOS LOS VALORES ANTI MOSTRADOS SON PROMEDIOS.
EL ATEMUADOR DE POSICION 0db.

Tabla 4.4. Parámetros del segmento espacial para varias localidades.

ZONA GEOGRAFICA	CONFIABILIDAD					
	99.99%	99.98%	99.95%	99.90%	99.80%	95.50%
NOR OCCIDENTE	TX 8.0	6.6	5.3	3.5	3.0	1.5
	RX 6.0	4.6	3.3	1.9	1.0	---
NORTE CENTRO	TX 5.4	4.5	2.5	1.3	1.0	---
	RX 3.4	2.5	0.5	---	---	---
GOLFO NORTE	TX 12.7	11.0	10.0	9.2	6.8	3.6
	RX 10.7	9.0	8.0	7.2	4.8	1.6
CENTRO	TX 11.6	10.2	8.2	6.3	4.2	2.2
	RX 9.6	8.2	6.2	4.3	2.2	0.2
PACIFICO CENTRO	TX 12.5	11.2	10.7	8.5	5.9	3.6
	RX 10.5	9.2	8.7	6.5	3.9	1.6
ITSMO	TX 12.2	11.3	10.5	8.2	5.8	2.6
	RX 10.2	9.3	8.5	6.2	3.8	0.6
YUCATAN	TX 13.9	12.3	11.1	8.9	6.0	2.9
	RX 11.9	10.3	9.1	6.9	4.0	0.9

Márgenes de lluvia en (dB) para las diferentes zonas geográficas y confiabilidades.

Tabla 4.5.

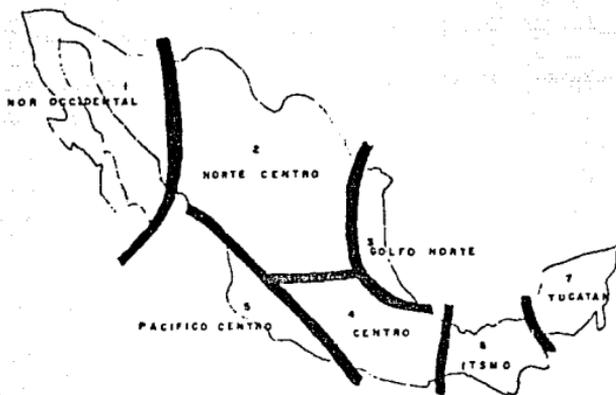


Fig. 4.10. Zonas geográficas del país.

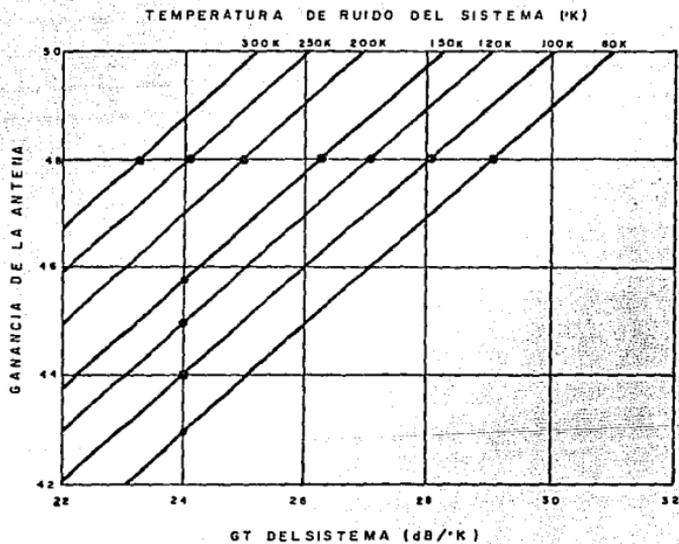


Fig. 4.11. G/T del sistema vs. ganancia de la antena.

V. RESULTADOS.

V.1. INTRODUCCION.

Con el fin de observar el comportamiento de los canales de datos y de voz, vía satélite, se presentan los resultados obtenidos de los enlaces del CENACE con cada una de las áreas, en ambos sentidos.

Como se recordara el país se dividió en ocho áreas o regiones, cada una de ellas tiene un centro de control, a continuación se da el área y la ciudad donde se encuentra el centro de control.

Nº.	Area.	Ciudad.
1.	Central.	México., D.F.
2.	Oriental.	Puebla.
3.	Occidental.	Guadalajara.
4.	Noroeste.	Hermosillo.
5.	Norte.	Gómez-Palacio.
6.	Noreste.	Monterrey.
7.	Baja California.	Mexicali.
8.	Peninsular.	Mérida.

En la fig. 1.2. se muestra un mapa de la República Mexicana con los centros de control, así como la región aproximada que controla.

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

ENLACE	es el número consecutivo del circuito.
ESTACIONES	indica la pareja de estaciones enlazadas; donde la primera transmite y la segunda recibe.
#C	C = CENACE; A# = Area número. (ver tabla anterior). número de canales transmitidos por enlace.
REQUERIDO (C/N)	es la relación portadora sobre ruido con la que el sistema debe operar.
PIRE/S/C	es la potencia efectiva isotrópica que debe radiar el satélite, por canal.
PIRE/T/C	es la potencia efectiva isotrópica que debe radiar la estación terrena, por canal.
G/T DEL RECEPTOR	figura de mérito de la estación terrena receptora.
TEMPERATURA	temperatura de ruido del preamplificador de bajo ruido, en grados Kelvin
$(C/N_o)_s$	relación portadora sobre densidad de ruido en la trayectoria de subida
$(C/N_o)_d$	relación portadora sobre densidad de ruido en la trayectoria de bajada.
$(C/N_o)_i$	es la relación portadora sobre densidad de ruido de intermodulación producida en el satélite.
$(C/N_o)_T$	relación total portadora sobre densidad de ruido.
$(C/N)_T$	relación total portadora sobre ruido.
HPA	potencia del amplificador de la estación terrena.

V.2. RESULTADOS CANALES DE DATOS.

Con el fin de observar el comportamiento de los canales de datos vía satélite, se presentan los resultados de cada una de las áreas con el CENACE.

Enlace	Estaciones	#C	Requer. (C/N) dB	PIRE/s/c dBw	PIRE/t/c dBw	G/T del recept. dB/K	Temp. K	Ganan. antena dB
01	C/A1	3	8.42	0.21	26.95	25	80	44
02	A1/C	3	8.42	0.21	27.00	26	80	45
03	C/A2	3	8.42	0.31	26.95	25	80	44
04	A2/C	3	8.42	0.21	27.08	26	80	45
05	C/A3	3	8.42	0.21	26.95	27	80	46
06	A3/C	3	8.42	0.21	26.96	26	80	45
07	C/A4	3	8.42	-0.09	26.95	25	80	44
08	A4/C	3	8.42	0.21	26.77	26	80	45
09	C/A5	3	8.42	0.01	26.95	25	80	44
10	A5/C	3	8.42	0.21	28.42	26	80	45
11	C/A6	3	8.42	-0.44	26.95	25	80	44
12	A6/C	3	8.42	0.21	26.94	26	80	45
13	C/A7	3	8.42	-0.89	26.95	25	80	44
14	A7/C	3	8.42	0.21	28.20	26	80	45
15	C/A8	3	8.42	0.51	26.95	27	80	46
16	A8/C	3	8.42	0.21	28.09	26	80	45

Enlace	$(C/N_o)_s$ dB	$(C/N_o)_d$ dB	$(C/N_o)_l$ dB	$(C/N_o)_T$ dB	$(C/N)_T$ dB	HPA W
01	57.98	55.50	57.63	52.12	8.60	0.192
02	57.98	56.54	57.63	52.57	9.05	0.193
03	57.98	55.61	57.63	52.17	8.65	0.192
04	57.98	56.54	57.63	52.57	9.05	0.197
05	57.98	55.83	57.63	52.26	8.74	0.192
06	56.28	56.54	57.63	52.00	8.48	0.124
07	57.98	56.31	57.63	52.47	8.95	0.192
08	59.18	56.54	57.63	52.88	9.36	0.183
09	57.47	57.47	57.63	52.91	9.39	0.192
10	60.88	53.22	57.63	53.22	9.70	0.269
11	57.98	57.74	57.63	52.74	9.22	0.192
12	60.88	53.22	57.63	53.22	9.70	0.191
13	57.98	55.49	57.63	52.11	8.59	0.192
14	57.98	56.54	57.63	52.88	9.36	0.256
15	57.98	55.98	57.63	52.30	8.78	0.192
16	56.18	56.54	57.63	51.97	8.45	0.161

Como se puede observar todos cumplen con el requerido (C/N).

De la tabla de resultados se puede observar que el enlace más crítico sera el del A8/C, aunque no debe existir problema para su conexión ya que también cumple con el requerido (C/N).

V.3. RESULTADOS CANALES DE VOZ.

Con el fin de observar el comportamiento de los canales de voz vía satélite, se presentan los resultados de cada una de las áreas con el CENACE.

Enlace	Estaciones	#C	Requer.		PIRE/L/c dBw	G/T del recept. dB/R	Temp. K	Ganan. antena dB
			(C/N) dB	PIRE/s/c dBw				
01	C/A1	3	11.55	4.19	30.93	25	80	44
02	A1/C	3	11.55	4.19	30.98	26	80	45
03	C/A2	3	11.55	4.29	30.93	25	80	44
04	A2/C	3	11.55	4.19	31.06	26	80	45
05	C/A3	3	11.55	4.19	30.93	27	80	46
06	A3/C	3	11.55	4.19	31.97	26	80	45
07	C/A4	3	11.55	3.89	30.93	25	80	44
08	A4/C	3	11.55	4.19	30.75	26	80	45
09	C/A5	3	11.55	3.99	30.93	25	80	44
10	A5/C	3	11.55	4.19	32.40	26	80	45
11	C/A6	3	11.55	3.54	30.93	25	80	44
12	A6/C	3	11.55	4.19	30.92	26	80	45
13	C/A7	3	11.55	3.09	30.93	25	80	44
14	A7/C	3	11.55	4.19	32.14	26	80	45
15	C/A8	3	11.55	4.49	30.93	27	80	46
16	A8/C	3	11.55	4.19	31.57	26	80	45

Enlace	$(C/N_0)_s$ dB	$(C/N_0)_d$ dB	$(C/N_0)_i$ dB	$(C/N_0)_T$ dB	$(C/N)_T$ dB	HPA W
01	61.96	59.48	62.83	56.41	12.89	0.390
02	61.96	60.52	62.83	56.89	13.37	0.515
03	61.96	59.59	62.83	56.47	12.95	0.390
04	61.96	60.52	62.83	56.89	13.37	0.525
05	61.96	57.81	62.83	55.50	11.98	0.390
06	60.26	60.52	62.83	56.80	13.28	0.393
07	61.96	60.29	62.83	56.79	13.27	0.390
08	63.16	60.52	62.83	57.23	13.71	0.489
09	61.96	61.45	62.83	57.27	13.75	0.390
10	64.86	60.52	62.83	57.60	14.08	0.714
11	61.96	60.98	62.83	57.08	13.56	0.390
12	64.86	60.52	62.83	57.60	14.08	0.507
13	61.96	59.47	62.83	56.40	12.88	0.390
14	63.18	60.52	62.83	57.23	13.71	0.674
15	61.96	59.89	62.83	56.61	13.09	0.390
16	61.96	60.52	62.83	56.24	12.72	0.358

Como se puede observar todos cumplen con el requerido (C/N).

De la tabla de resultados se puede observar que el enlace más crítico sera el del C/A3, aunque no debe existir problema para su conexión ya que también cumple con el requerido (C/N).

A continuación se indica el HPA (en watts) para cada área.

Nº.	Area.	HPA.
0.	CENACE	4.656
1.	Central.	0.708
2.	Oriental.	0.717
3.	Occidental.	0.517
4.	Noroeste.	0.672
5.	Norte.	0.983
6.	Noreste.	0.698
7.	Baja California.	0.930
8.	Peninsular.	0.519

VI. CONCLUSIONES.

El estudio propuesto en este trabajo, tiende a cubrir las necesidades de comunicación presentadas al requerirse controlar, administrar y operar adecuadamente la energía eléctrica del País.

Podemos decir que debido a la gran magnitud y al crecimiento constante del Sistema Eléctrico Nacional, se debe contar con los medios de comunicación más confiables, con el fin de poder "observar" y controlar el funcionamiento del mismo.

Actualmente, depende de canales de comunicación que tienen deficiencias por la misma estructura que los forma, es decir son segmentos de comunicación, en los cuales los puntos de unión forman "terrenos de nadie" que obstaculizan técnica y burocráticamente su rápido reestablecimiento en caso de falla.

Con la comunicación vía satélite, se pretende conjuntar un medio homogéneo de tráfico de información que facilite la toma de decisiones y envío de comandos en la operación del sistema de energía eléctrica.

Evidentemente, el sistema de comunicaciones a través del satélite, es susceptible de cambios o modificaciones en el número, de estaciones terrenas, modificando únicamente el HPA del CENACE., previo estudio de las condiciones geográficas para la estación terrena remota.

Con lo cual poder determinar las características propias del sistema para la localidad en que se instalara este equipo, considerando que maneje la misma cantidad de canales que las demás estaciones remotas, con el fin de optimizar los sistemas utilizados en la instalación.

El uso de un solo medio de comunicación no garantiza la total confiabilidad del mismo, por motivos técnicos y económicos, razón por la cual siempre es conveniente tener rutas alternas de comunicación. En caso de falla del sistema principal, se podrá utilizar el de respaldo.

Tomando en cuenta que Comisión Federal de Electricidad y el propio CENACE, tienen la obligación de presentar a concurso toda implementación o compra de equipo que se requiera para el mejor desarrollo de las actividades propias del sistema, considero que este documento debe servir como marco de referencia para la licitud.

Finalmente, es conveniente agregar, que la propuesta de este trabajo, es el resultado de mi participación directa en las actividades en el Area de Comunicaciones de la Comisión Federal de Electricidad.

ANEXO I.

CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS AL SATELITE.

Cálculo de las distancias de las estaciones terrenas al satélite --
Morelos II ubicado en 116.5° W longitud oeste.

Ecuaciones utilizadas en el cálculo.

$$DLo = Lo_e - Lo_s \quad (A1.1)$$

Donde:

DLo = Diferencia de longitudes.

Lo_e = Longitud de la estación terrena.

Lo_s = Longitud del satélite.

$$\cos \beta = (\cos La_e) \cdot (\cos DLo) \quad (A1.2)$$

Donde:

La_e = Latitud de la estación terrena.

$$l = [(R+ASN M)^2 + (R+H)^2 - 2(R+ASN M)(R+H) \cos \beta]^{\frac{1}{2}} \quad (A1.3)$$

Donde:

l = Distancia de la estación terrena al satélite.

R = Radio medio de la tierra = 6378 Km.

$ASN M$ = Altura sobre el nivel del mar de la estación terrena.

H = Altura del satélite en forma perpendicular sobre el Ecuador
= 35786 Km

Distancia de la estación terrena del CENACE al satélite.

Sustituyendo valores en las ecuaciones antes mencionadas, se tendrá:

$$DLo = 99.21 - 116.5 = -17.29^\circ$$

$$\cos -17.29^\circ = 0.9548$$

$$La = 19.33^\circ$$

$$\cos La = 0.9438$$

$$\cos B = (0.9548)(0.9438) = 0.9011$$

$$B = 25.69^\circ$$

$$l = \left[(6378 + 2.310)^2 + (6378 + 35786)^2 - 2(6378 + 2.310)(6378 + 35786)0.9011 \right]^{1/2}$$

$l = 36317.43$ Km. Distancia que hay entre CENACE y el satélite.

Para las demás áreas se da una lista a continuación.

Area.	Distancia. (Km)	Area.	Distancia. (Km)
1. CENTRAL.	36513.07	2. ORIENTAL.	36446.77
3. OCCIDENTAL.	36380.80	4. NOROESTE.	36873.95
5. NORTE.	36617.11	6. NORESTE.	36698.24
7. B.CALIF.	36961.49	8. PENINSULAR.	36866.82

ANEXO II.

ANGULO DE ELEVACION.

A continuación se indica la forma de calcular el ángulo de elevación de cada estación terrena, así como los resultados obtenidos para cada una de las áreas con respecto al satélite Morelos II.

II.1. Cálculo del ángulo de elevación.

Con referencia a la figura A2.1. y utilizando geometría analítica tridimensional se deducen las siguientes relaciones.

COORDENADAS DEL SATELITE.

$$X_S = 0$$

$$Y_S = R_t + R_D = 6378 + 35786 = 42164 \text{ Km.}$$

$$Z_S = 0$$

En donde:

R_t = Radio terrestre.

R_D = Altitud del satélite sobre el nivel del mar.

COORDENADAS DE LA ESTACION TERRENA.

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

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

$$Z_t = R_e \text{ sen } (90^\circ - \text{latitud})$$

La latitud y longitud de cada estación terrena se encuentran en las tablas 4.1 - 4.2 (cap. IV).

Longitud relativa = longitud de la estación terrena - longitud del satélite.

Nota al calcular X_t , Y_t y Z_t , el valor de R_e que debe de emplearse es igual al radio terrestre, más la altura sobre el nivel del mar que tenga la estación terrena en cuestión.

ANGULO DE ELEVACION:

Este ángulo se define como el ángulo formado por las rectas L_1 y L_2 ; la recta L_1 contiene a los puntos T y S de la fig. A2.1. en donde T = estación terrena y S = satélite; la recta L_2 contiene a los puntos T y C, en donde C se halla sobre el eje "Y" y queda contenida por uno de los planos tangentes a la tierra en el punto T.

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

$$ALFA = \text{ang cos} \left(\frac{X_t^2 + (Y_t - Y_c)(Y_t - Y_s) + Z_t^2}{(MOD 1)(MOD 2)} \right) \quad (A2.1)$$

En donde;

$$Y_c = \left(\frac{X_t^2 + Z_t^2}{Y_t} \right) + Y_t \rightarrow R_e \quad (A2.2)$$

$$MOD 1 = [X_t^2 + (Y_t - Y_c)^2 + Z_t^2]^{1/2} \quad (A2.3)$$

$$MOD 2 = [X_t^2 + (Y_t - Y_s)^2 + Z_t^2]^{1/2} \quad (A2.4)$$

II.2. RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las estaciones terrenas (en grados), con las ecuaciones de la sección anterior, empleando el satélite Morelos II, situado a 116.5 grados oeste.

AREA.	ANGULO DE ELEVACION.	AREA.	ANGULO DE ELEVACION.
0. CENACE.	59.94		
1. CENTRAL.	59.82	2. ORIENTAL.	59.33
3. OCCIDENTAL.	61.62	4. NOROESTE.	55.55
5. NORTE.	56.76	6. NORESTE.	54.98
7. B.CALIF.	52.04	8. PENINSULAR.	51.02

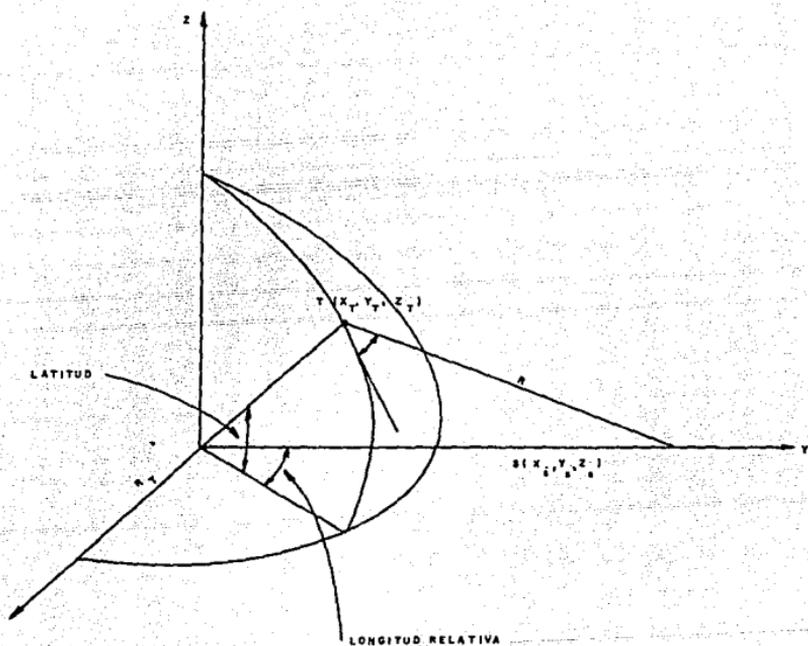


Fig. A2.1. Sistema de coordenadas esfericas y localización geométrica de la estación terrena y del satélite.

ANEXO III.

ANALISIS TECNICO - ECONOMICO:

III.1 ANALISIS ECONOMICO.

Para poder determinar, si es viable económicamente establecer un sistema Nacional por Satélite, será necesario elaborar un detallado estudio Técnico - Económico que contemple factores tales como:

Causas técnicas, Económicas y Sociales que motivan el establecimiento del Sistema.

Objetivos Nacionales que prevalezcan sobre consideraciones Económicas.

Necesidad de derivación de canales o circuitos de comunicación.

Como premisa especial de los factores anteriores también hay que considerar:

Requerimientos iniciales de circuitos, como la cantidad y entre que puntos.

Necesidades a un futuro inmediato (5 años).

Otras consideraciones importantes son:

Fecha prevista para la puesta en servicio.

Infraestructura existente, calidad técnica y limitaciones.

Necesidades de personal adicional, considerando que parte o todo del existente puede ser capacitado, en el nuevo sistema de transmisión.

Capacitación a diversos niveles y en áreas diversas. Tanto para el personal actual, como para el de nuevo ingreso.

Cargas suplementarias de trabajo en general que involucra la instalación de equipos basados en nuevas técnicas.

Al realizar el estudio es recomendable distinguir los gastos de Inversión inicial de los gastos de explotación.

Los primeros están referidos a las erogaciones para la adquisición de bienes y para establecer o ampliar instalaciones. Normalmente son de costos elevados y tienen un período de utilidad importante, entre los cuales se encuentran los siguientes:

Terrenos y edificaciones.

Materiales y equipos.

Estudios técnicos y capacitación del personal. Etc.

Los gastos de explotación implican la existencia y el empleo de material; una característica importante de los mismos es que su existencia es paralela a la vida útil del equipo, es decir, tienden a aparecer y desaparecer al mismo tiempo que los materiales.

Sus montos son dependientes del mismo material (variedad de elementos de montaje, lugar de instalación, etc.) y de la importancia de sus modificaciones.

Los gastos de explotación comprenden erogaciones en:

Materiales y sueldos destinados a la conservación de equipos.

Herramientas, equipos de medición y prueba.

Adquisición, aprovisionamiento y almacenamiento de refacciones.

Capacitación periódica del personal.

Gastos de administración.

Etc.

III.2. OTROS FACTORES.

Otros factores que se deben tomar en cuenta al realizar el análisis técnico - económico, son:

* **Calidad de la transmisión:**

Se deben definir parámetros de operación y valores mínimos, que deben cumplir para obtener la calidad de servicio deseada.

* **Vida útil.**

Se debe conocer la rapidez con la que se degradan los equipos

y materiales, con el fin de tener el umbral mínimo de funcionalidad.

- **Gastos extraordinarios o alteraciones.**

En la evaluación se tendrá que considerar gastos extraordinarios o alteraciones a los ya previstos, motivados por situaciones especiales como:

Inestabilidad de la moneda.

Problemas de programación económica, de financiamiento.

- **Cuestiones administrativas y jurídicas.**

El trámite de registro y autorización de espectro de frecuencia, así como, el visto bueno para la operación de los equipos, de acuerdo al reglamento establecido por la S.T.C.; debe hacerse con suficiente tiempo.

- **Personal y capacitación.**

El contar dentro de la institución con cuadros de personal, dedicados a la operación, explotación y mantenimiento de sus comunicaciones, con una sólida formación técnica y administrativa; asegura en gran parte la eficacia de sus sistemas. Cuando se implanta un nuevo sistema ó técnica, es recomendable seleccionar a el personal que ya labora en la institución, susceptible de ser capacitado en esas nuevas áreas.

La capacitación teórica y práctica, debe ser lo más completa posible.

ANEXO IV.

FIGURA DE MERITO PARA TRANSMISIÓN DIGITAL.

Básicamente los principios de transmisión digital descansan firmemente en la teoría de la probabilidad, en la práctica, nosotros podemos medir los datos, en intervalos de tiempo limitado.

En esta sección se describen las figuras de mérito usadas para describir la calidad de las comunicaciones digitales.

En los sistemas actuales, hay varias fuentes potenciales de error, como:

Ruido térmico (en el canal de R.F.).

Errores de Hardware (en el equipo).

Errores de Software (en la programación de los equipos).

Interferencia (tanto humana como ambiental).

En la práctica, varias figuras de mérito son usadas para cuantificar el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones digitales.

El primero de estos es el índice de bits erróneos (BER).

Teóricamente el funcionamiento es usualmente especificado en términos

de la probabilidad de bits erróneos.

En la práctica, nosotros podemos medir el BER únicamente en intervalos de tiempos finitos y comparar esto con la probabilidad de error predecida por la teoría.

El BER es calculado de acuerdo a :

$$BER = \frac{E}{R T_m} \quad (A4.1)$$

donde:

E = Número de bit erróneos observados.

R = Velocidad de datos en segundos.

T_m = Intervalo de medición en segundos

Esto es por supuesto, una relación equivalente del número de bits erróneos observados y divididos por el número de bits sobre el cual la medición es hecha.

Por supuesto, de la naturaleza probabilística del proceso de generación de errores, el resultado de la medición de bits erróneos en el funcionamiento de los sistemas proyectados, depende tanto del intervalo de tiempo sobre el cual la medición es hecha, T_m , y del número de errores observados durante ese intervalo.

Entre más grande sea el intervalo de tiempo, mayor cantidad de errores podrán ser observados y por lo tanto mas real será el reflejo de la medición del índice de errores del sistema.

Si todos los errores fueran causados por el ruido térmico, el BER por

si mismo sería suficiente medida de la calidad de una transmisión digital. Pero debido a los errores causados por Hardware - Software e interferencias, los sistemas prácticos requieren también de una medición del índice de bloques erróneos BKER.

El ruido térmico induce errores que tienden a extenderse uniformemente en el tiempo, en cambio con errores generados por Hardware - Software e interferencias estos se presentan por ráfagas.

Es por esto que el BER y el BKER pueden definir mas precisamente la naturaleza de los errores.

Los sistemas de información transmiten normalmente su información en bloques, cada bloque contiene un bit de detección de errores, que es usado para aceptar o rechazar cada bloque.

Los bloques rechazados son normalmente retransmitidos.

Una medición general del índice de bloques erróneos, es hecha para calcular la relación de números de bloques erróneos, a el número de bloques observado durante el intervalo de medición.

Un bloque erróneo se define, como un bloque en el cual al menos un error ha ocurrido.

Suponiendo que 1000 bits son transmitidos en 10 bloques, cada uno -
consistiendo de 100 bits. Si 10 errores ocurren en los 1000 bits, el
BER es 10^{-2} (10/1000) independientemente de la distribución de -
estos errores.

Para el BKER supongamos ahora que los 10 bits erróneos anteriores es-
tán en un sólo bloque, el BKER es $1/10 = 10^{-1} = 0.1$, pero si existe
un bit erróneo en nueve de esos bloques se tendrá un resultado de -

$BKER = 9/10 = 0.9$

Por lo tanto, en sistemas típicos, tanto el BER como el BKER son requeridos simultáneamente, para especificar la calidad del circuito de comunicación de datos.

BIBLIOGRAFIA.

- Aut. CE.NA.C.E.
Tit. EL SISTEMA ELECTRICO MEXICANO Y SU OPERACION.
Edi. C.F.E.
País. México. 1990.
- Aut. Comisión Federal de Electricidad.
Tit. ESTADISTICAS POR ENTIDAD FEDERATIVA.
Edi. C.F.E.
País. México. 1990.
- Aut. Comité de telecomunicaciones de C.F.E.
Tit. DIAGNOSTICO Y RECOMENDACIONES SOBRE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES.
Edi. C.F.E.
País. México. 1990.
- Aut. Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico. (CCITT).
Tit. REPERCUSIONES ECONOMICAS Y TECNICAS DEL ESTABLECIMIENTO DE UNA RED REGIONAL DE TELECOMUNICACIONES POR SATELITE
Edi. Unión Internacional de Telecomunicaciones. (UIT).
País. Ginebra 1983.

Aut. Schwartz, Mischa.
 Tit. TRANSMISION DE INFORMACION, MODULACION Y RUIDO;
 Edi. Mc Graw Hill. 3ª ed.
 País. U.S.A. 1983.

Aut. Lathi, B.P.
 Tit. INTRODUCCION A LA TEORIA Y SISTEMAS DE COMUNICACIONES.
 Edi. Limusa. 4ª reimp.
 País. U.S.A. 1983.

Sem. Facultad de Ingeniería. (Div. de Educ. Cont.)
 Tit. TELECOMUNICACIONES VIA SATELITE.
 Edi. U.N.A.M.
 País. México. 1983.

Sem. Facultad de Ingeniería. (Div. de Educ. Cont.)
 Tit. TELECOMUNICACIONES VIA SATELITE.
 Edi. U.N.A.M.
 País. México. 1988.

Mat. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.
 Tit. SATELITES Y MICROONDAS. (APUNTES).
 Edi. Landeros, Salvador.
 País. México. 1990.

Sem. Kb/Tel.
 Tit. SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES.
 Edi. Kb/Tel.
 Pafs. México. 1990.

Sem. Instituto de Investigaciones Eléctricas. (I.I.E.).
 Tit. DISEÑO DE SISTEMAS Y COMUNICACIONES VIA SATELITE.
 Edi. I.I.E.
 Pafs. México. 1982.

Aut. Dirección General de Telecomunicaciones.
 Tit. ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES TECNICAS Y OPERACIONALES PARA SISTEMAS DE REDES ACCESANDO EL SISTEMA DE SATELITES MORELOS.
 Edi. S.C.T.
 Pafs. México. 1989.

Aut. Carlson, Bruce.
 Tit. COMMUNICATION SYSTEMS.
 Edi. Mc Graw Hill.
 Pafs. U.S.A. 1981.

Aut. Livolsi, Bob.
 Tit. COMUNICACIONES POR SATELITE.
 Edi. General de Telecomunicaciones.
 Pafs. U.S.A. 1981.

Aut. Collins Transmission Systems Division
Tit. ENGINEERING INFORMATION.
Edi. Rockwell International.
Pafs. U.S.A. 1979.

Aut. Freeman, Roger L.
Tit. TELECOMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING.
Edi. Wiley Interscience Publication.
Pafs. U.S.A. 1980.

Aut. Pritchard, Wilbur & Sciulli, Joseph A.
Tit. SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING.
Edi. Prentice Hall.
Pafs. U.S.A. 1988.

Aut. Feher, Kamilo.
Tit. DIGITAL COMMUNICATIONS.
SATELLITE/EARTH STATION ENGINEERING.
Edi. Prentice Hall.
Pafs. U.S.A. 1990

Aut. Ha, Tri T.
Tit. DIGITAL SATELLITE COMMUNICATIONS.
Edi. Mc Graw Hill.
Pafs. U.S.A. 1990