

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

"A R A G O N"



**"PROYECTO DE UN SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL  
PARA UNA RED DE MICROONDAS"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICO  
P R E S E N T A N**

**JOSE GUSTAVO ALANIS SOTO  
MIGUEL ANTONIO VALLE SANCHEZ**



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.

## I N D I C E

### CAPITULO I.

Pág.

#### CARACTERISTICAS GENERALES.

I.1.- Objetivo. ....	1
I.2.- Sistemas por Línea de Vista y Sistemas Sobre el Horizonte. ....	2
I.3.- Características y Ventajas de los Sistemas por Línea de Vista. ....	5
I.4.- Estaciones Terminales, Estaciones Repetidoras y Equipo de Reserva. ....	12
I.4.1.- Estaciones Terminales. ....	12
I.4.2.- Estaciones Repetidoras. ....	14
I.4.3.- Repetidores Pasivos. ....	31
I.4.4.- Equipo de Reserva. ....	34
I.5.- Sistemas de Comunicación de Banda Ancha. ....	38
I.6.- Plan de Frecuencias. ....	46
I.7.- Plan de Modulación. ....	56

### CAPITULO II.

#### PROPAGACION.

II.1.- Atenuación. ....	65
-------------------------	----

	Pág.
II.1.1.- Atenuación en el Espacio Libre. ....	65
II.1.2.- Ganancia de una Antena. ....	72
II.2.- Refracción de Ondas Milimétricas. ....	74
II.2.1.- Refracción. ....	74
II.2.2.- Curvatura de la Tierra. ....	80
II.2.3.- Zonas de Fresnel. ....	82
II.3.- Difracción. ....	85
II.3.1.- Difracción. ....	85
II.4.- Reflexión. ....	91
II.4.1.- Reflexión en una Tierra Plana. ....	91

### CAPITULO III.

#### MODULACION DIGITAL.

III.1.- Modulación. ....	96
III.1.1.- Modulación. ....	96
III.1.2.- Tipos de Modulación. ....	97
III.1.3.- Necesidad de la Modulación. ....	99

	Pág.
III.2.- Modulación por Pulsos. ....	103
III.2.1.- Teorema de Muestreo. ....	103
III.2.2.- Muestreo Natural. ....	110
III.2.3.- Muestreo Plano. ....	114
III.2.4.- Modulación por Amplitud de Pulsos. ...	120
III.2.5.- Modulación por Pulsos Codificados (PCM). ....	124
III.2.6.- Representaciones Eléctricas de Digitos Binarios. ....	128
 III.3.- Modulación Digital. ....	 132
III.3.1.- Modulación por Desviación de Amplitud (ASK). ....	133
III.3.2.- Modulación por Desviación de Frecuen- cia (FSK). ....	139
III.3.3.- Modulación por Desviación de Fase - (PSK). ....	146

#### CAPITULO IV.

DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL. ....	148
IV.1.- Sistemas de Supervisión y Control.....	148
IV.2.- Equipo de Supervisión y Control. ....	150

CAPITULO V.

Pág.

SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL.

V.1.- Red del Sistema de Supervisión y Control. ....	160
V.2.- Operación Funcional de la Red de Supervisión y Control. ....	164
V.2.1.- Secuencia de Reporte Normal. ....	164
V.2.2.- Secuencia de Selección de Estación. ....	167
V.3.- Transmisión de Datos. ....	169

CAPITULO VI.

EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL.

VI.1.- Equipo de Supervisión y Control de la Serie NAR/500. ....	173
VI.1.1.- Descripción del Equipo. ....	173
VI.1.2.- Especificaciones del Equipo. ....	174
VI.2.- Equipo de Supervisión y Control Requerido. ....	178
VI.2.1.- Equipo de Supervisión y Control Requerido por una Estación Maestra. ....	178

	Pág.
VI.2.2.- Equipo de Supervisión y Control Reque- rido por una Estación Sub-Maestra. ....	179
VI.2.3.- Equipo de Supervisión y Control Reque- rido por una Estación Esclava Terminal. ....	179
VI.2.4.- Equipo de Supervisión y Control Reque- rido por una Estación Esclava Repetido ra. ....	180

## CAPITULO VII.

### INSTALACION Y OPERACION DEL EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL.

VII.1.- Instalación. ....	181
VII.1.1.- Planeación de la Instalación. ....	181
VII.1.2.- Procedimiento de Instalación. ....	187
VII.2.- Operación. ....	190
VII.2.1.- Generalidades de la Operación. ....	190
VII.2.2.- Operación del Sistema. ....	191
VII.3.- Mantenimiento. ....	212
VII.3.1.- Mantenimiento Preventivo. ....	212
VII.3.2.- Mantenimiento Correctivo. ....	220

CAPITULO VIII.

	Pág.
COSTO. ....	224
VIII.1.- Costo de la Red de Supervisión y Control. ...	224
VIII.1.1.- Costo de una Estación Maestra. ....	224
VIII.1.2.- Costo de una Estación Sub-Maestra. ..	226
VIII.1.3.- Costo de una Estación Esclava Ter minal. ....	228
VIII.1.4.- Costo de una Estación Esclava Re- petidora. ....	228
VIII.5.- Costo Total de la Red de Supervisión y - Control. ....	229
C O N C L U S I O N . ....	230
A P E N D I C E "A".- Multicanalización por División de Frecuencia. ....	231
A P E N D I C E "B".- Multicanalización por División de Tiempo. ....	236
A P E N D I C E "C".- Recomendaciones del C.C.I.R. ....	241
B I B L I O G R A F I A . ....	

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

Dentro del campo de la ingeniería las comunicaciones eléctricas han tomado un papel de relevante importancia en las últimas décadas debido a la creciente necesidad que existe de intercambiar información y al desarrollo tan vertiginoso en materia de electrónica.

Pero el manejo de un alto volumen de información -- exige equipos confiables capaces de lograr su objetivo.

Pero en muchos de los casos las trayectorias que siguen las señales de comunicación no son del todo accesibles para lograr un enlace directo con su destino, por lo que deben instalarse estaciones repetidoras que harán que la señal pueda ser recibida en el punto que se requiera; y en muchas ocasiones dichas estaciones repetidoras no cuentan con atención, es decir, que no existe personal encargado de mantener en un funcionamiento óptimo a dicha estación.

De aquí que surge la necesidad de contar con un -- equipo que se encargue de la supervisión y el control de dicha estación, para mantener informadas a las personas encargadas de supervisar y controlar la red de comunicación, del estado en que se

encuentra la estación mencionada.

Algunos aspectos de la supervisión y el control serán tratados en este trabajo.

## I.- CARACTERISTICAS GENERALES.

### I.1.- OBJETIVO.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental - el presentar las tecnologías modernas que existen actualmente para la supervisión y control con las que se puede contar y trabajar -- dentro de un sistema de comunicación vía microondas y analizar también algunas de sus características más importantes.

Se hace mención, antes de tratar los sistemas de supervisión y control, de las características generales de un sistema de comunicación vía microondas, también se mencionan los diferentes fenómenos que se presentan al trabajar con ondas electromagnéticas de alta frecuencia y las técnicas de modulación empleadas por los sistemas de supervisión y control.

Cabe destacar que los sistemas de supervisión y control pueden cumplir con la tarea de avisar ó alertar acerca de un mal funcionamiento o de alguna falla dentro del mismo sistema de comunicación o pueden emplearse como ayuda para alertar acerca de una falla en el funcionamiento de una sub-estación eléctrica, estación repetidora, o en cualquier sistema que se encuentre alejado de los centros de actividad humana y que requieran alguna reparación.

I.2.- SISTEMAS POR LINEA DE VISTA Y  
SISTEMAS SOBRE EL HORIZONTE.

La mayoría de los sistemas de comunicación por radio, en la región de microondas que están en uso actualmente, se pueden clasificar en dos categorías principales:

1.- Sistemas por Línea de Vista.

2.- Sistemas sobre el Horizonte o Troposféricos.

Los sistemas por Línea de Vista (LOS) emplean una potencia de transmisión relativamente baja para enlaces con una longitud que varía de 15 a 75 Km., por lo que es necesario colocar -- una estación repetidora para sistemas de comunicación instalados -- en tierra. Los sistemas por Línea de Vista también se emplean en la comunicación vía satélite sobre grandes distancias en el espacio.

Los sistemas sobre el Horizonte o Troposféricos emplean altas potencias de transmisión del orden de los 50 KW o más, para trayectorias que varían de 75 a 100 km. de longitud por enlace.

Teóricamente un sistema por Línea de Vista puede extenderse sobre terreno favorable y sin barreras naturales sobre --

una gran distancia, por ejemplo, de 4500 a 6000 Km., empleando muchos puestos de repetición. Sin embargo, la distancia que se puede cubrir por cada enlace está limitada a distancias cortas tales como 45 a 75 Km.

Los sistemas de propagación sobre el Horizonte o Troposféricos son relativamente recientes y su empleo se ha extendido rápidamente hasta ocupar una posición sobresaliente en los sistemas que proporcionan comunicación por difracción o por dispersión troposférica.

Una de las principales ventajas de los sistemas Sobre el Horizonte comparadas con los sistemas por Línea de Vista es que los primeros proporcionan comunicación confiable sobre grandes distancias del orden de varios cientos de km., sin emplear estaciones repetidoras. Este hecho es de un valor considerable cuando el terreno de la ruta es poco accesible o cuando se interponen barreras naturales como océanos, desiertos, etc. La figura I.2.1. ilustra los sistemas por Línea de Vista y los Troposféricos.

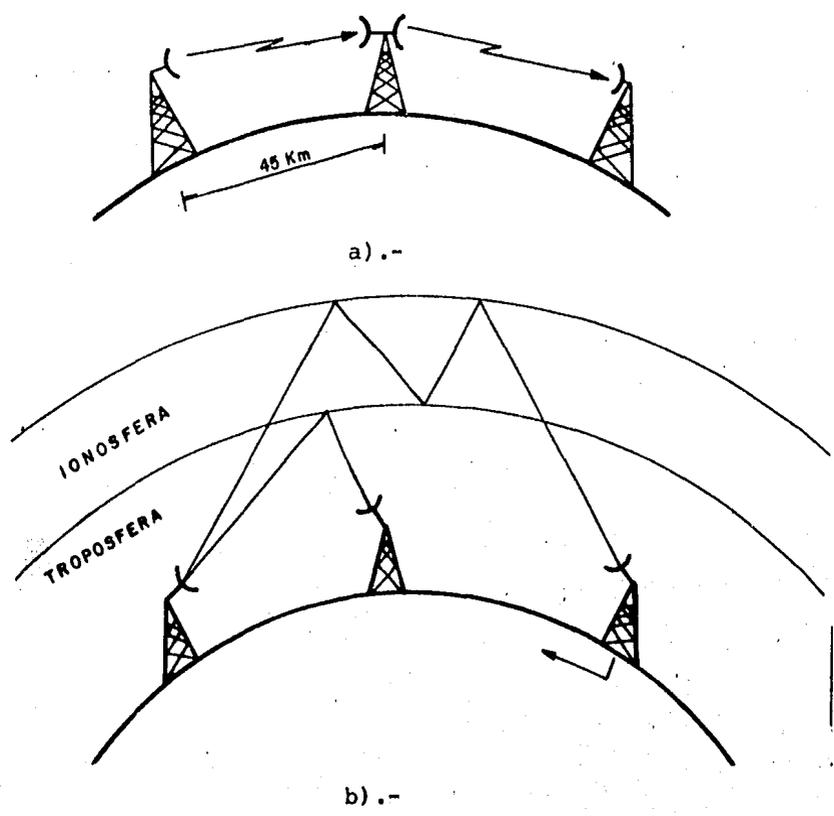


Fig. I.2.1.- Tipos de Enlaces empleados en Microondas.  
a).- Enlace por Línea de Vista.  
b).- Enlace Sobre el Horizonte.

En los últimos años ha surgido un desarrollo radical en los métodos de transmisión por microondas, principalmente por el empleo de satélites como estaciones repetidoras. En la actualidad la comunicación por satélite nos proporciona sistemas de comu-

nicación de alcance mundial, incluyendo la transmisión de programas de televisión.

A partir del lanzamiento del satélite Sputnik I, el empleo de satélites se ha desarrollado desde pruebas puramente científicas a aplicaciones prácticas, tales como los satélites meteorológicos, de comunicaciones y las naves espaciales tripuladas.

En las últimas décadas se ha sucedido una enorme demanda de canales de comunicación no solamente para telefonía, sino también para canales de televisión y para sistemas de transmisión de datos.

No obstante que los actuales sistemas de microondas y por cable coaxial satisfacen las necesidades presentes, las demandas en el futuro próximo continuarán incrementándose y consecuentemente se requerirá desarrollar nuevos medios de comunicación.

Recientemente se han desarrollado nuevas técnicas de comunicación empleando Rayo LASER y FIBRAS OPTICAS. Dichas técnicas se espera que habrán de satisfacer las demandas futuras.

### 1.3.- CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LOS SISTEMAS POR LINEA DE VISTA.

Los sistemas de comunicación por microondas con tra--

vectorias por línea de vista han adquirido en los últimos veinte años un lugar de considerable importancia en el campo de las comunicaciones.

La gran variedad de posibles aplicaciones se extiende, por ejemplo, desde sistemas que proporcionan un pequeño número de circuitos telefónicos a sistemas que proporcionan varios miles de circuitos telefónicos o varios canales de televisión sobre distancias de miles de kilómetros, con alta calidad de funcionamiento y confiabilidad, lo cual es indispensable para los circuitos troncales nacionales e internacionales.

El interés de emplear la banda de frecuencias arriba de los 300 MHz para propósitos comerciales comienza a estudiarse a principios de 1930 y en los primeros enlaces la frecuencia de operación empleada fué de 1700 MHz, y la potencia de transmisión fué de aproximadamente 1 Watt. Se consideró entonces como un enorme avance en las técnicas de comunicación existentes hasta la fecha y se demostró que la banda de frecuencias de los 300 hasta los 3000 MHz estaba lista para su explotación.

El rápido incremento de los sistemas de microondas -- por línea de vista puede atribuirse a las siguientes características:

- 1.- Una gran capacidad de canales y la versatilidad -

para emplear sistemas con unos pocos canales de voz o sistemas con capacidad para varios canales de televisión.

2.- Una fácil extensión en la capacidad.

3.- Un tiempo de instalación relativamente corto.

4.- Mejor adaptación a terrenos poco accesibles y a barreras naturales.

Los principales campos de aplicación para los sistemas de comunicación por línea de vista son los siguientes:

1.- Sistemas fijos "integrados" para telefonía o televisión.

2.- Sistemas fijos "no integrados" para telefonía o televisión, los cuales están conectados ocasionalmente con las redes nacionales o internacionales.

3.- Sistemas portátiles que se emplean generalmente para propósitos de televisión comercial en eventos especiales o para usos militares, los cuales pueden interconectarse a las redes nacionales e internacionales.

Los enlaces a través de redes de microondas por línea

de vista se continúan desarrollando debido a que tienen muchas ventajas comparadas a los enlaces sobre el Horizonte, los cuales emplean bajas frecuencias y a los sistemas de portadora por medio de líneas aéreas (cable).

Las ventajas de la comunicación por microondas empleando enlaces por línea de vista son las siguientes:

1.- Alta Ganancia de la Antena.- Suponiendo que el área de una antena es constante, entonces la ganancia de la antena será inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda. Por lo tanto, es fácil hacer una antena con alta ganancia en la región de microondas debido a que la longitud de onda es pequeña. Por otra parte, la pérdida de propagación en el espacio libre es proporcional al cuadrado de la longitud de onda.

2.- Alta Directividad de la Antena.- Es fácil obtener una antena altamente directiva en la región de microondas. La interferencia en una estación repetidora con 4 antenas parabólicas es más pequeña en la región de microondas, que a bajas frecuencias.

En el plan de dos frecuencias en sistemas de comunicación por microondas, las frecuencias de transmisión en ambas direcciones de una estación repetidora son las mismas y las frecuencias

de recepción son también las mismas, mientras que las frecuencias de transmisión y recepción para una sola dirección a través de toda la ruta son diferentes. En el caso de ramificar la ruta del enlace en una estación repetidora, se pueden emplear también las mismas dos frecuencias para la transmisión y recepción de la ruta ramificada, si el ángulo entre la ruta principal y la ramificada es mayor de  $60^\circ$ . La figura I.3.1., ilustra el plan de frecuencias.

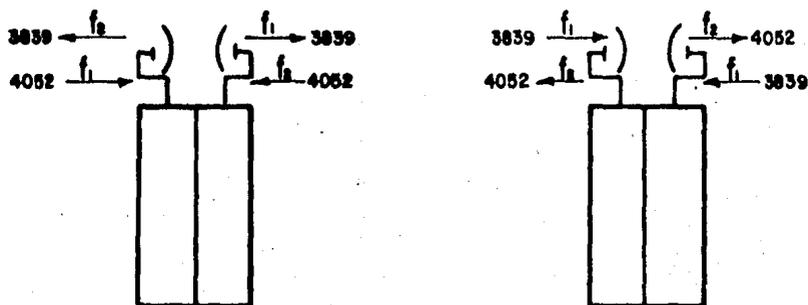


Fig. I.3.1.- Plan de Frecuencias.

### 3.- Adaptabilidad de la Transmisión de Banda Ancha.-

Las señales de televisión ocupan alrededor de 6 MHz de ancho de banda y 600 canales telefónicos ocupan alrededor de 2.5 MHz de ancho de banda. En virtud de que la frecuencia es alta en la región de microondas, la relación del ancho de banda ocupado por las señales de televisión o telefonía multicanal a la frecuencia de portadora de microondas es pequeña. Esto facilita el diseño de componentes y equipo para microondas. Es posible emplear una antena de microondas de banda ancha para transmitir varios sistemas de microondas en paralelo.

4.- Características de Propagación de las Microondas.

Las características de propagación de las microondas dentro de los sistemas por línea de vista son totalmente estables, pero son afectadas por la temperatura y la variación de humedad en las capas atmosféricas cercanas a la tierra. La cantidad de desvanecimiento aumenta cuando aumenta la frecuencia. El efecto de la reflexión de la tierra viene siendo pequeño cuando aumenta la frecuencia, debido a que la primera Zona de Fresnel viene siendo pequeña cuando aumenta la frecuencia. Para evitar el efecto de la reflexión de la tierra es necesario mantener libre la primera Zona de Fresnel.

5.- Relación Señal a Ruido (S/N).- Dado que la directividad de las antenas puede hacerse muy aguda y la propagación en microondas está limitada a la línea de vista, existe pequeña interferencia y se puede adoptar el sistema de modulación en frecuencia. Así la relación señal a ruido (S/N), puede mejorarse y la variación del nivel de salida de la señal puede también hacerse pequeño, aun cuando exista desvanecimiento en la propagación.

6.- Ruidos Naturales y Artificiales.- Como el ruido es un fenómeno de naturaleza aleatoria los sistemas de comunicación de microondas deben ser inmunes al ruido operando siempre dentro de los valores recomendados por las normas del C.C.I.R. (Comité Consultivo Internacional de Radio), entendiendo como ruido natu

ral las alteraciones producidas por fenómenos naturales, tales como explosiones solares, radiaciones electromagnéticas generadas -- por estrellas, estática, etc., y por ruido artificial, cualquier -- alteración producida por sistemas creados por el hombre como motores, lámparas, apagadores, etc.

7.- Alta Confiabilidad de las Redes de Microondas.-

Las redes de microondas están formadas por muchos puntos en los -- cuales se colocan estaciones repetidoras y terminales con enlaces por línea de vista, mientras que las redes de portadoras por lí--neas aéreas se componen de líneas de transmisión que unen estacio--nes terminales y repetidoras. Los sistemas de microondas que em--plean como medio de transmisión el espacio libre hacen que el sis--tema sea más confiable y de un mantenimiento más económico que los sistemas de portadoras por líneas aéreas.

8.- Fácil Instalación.- El tiempo que se requiere pa--ra la instalación de las redes de microondas es más corto que el -- que requiere la instalación de redes de portadoras por líneas aé--reas.

9.- Bajo Costo de Instalación.- La inversión para la -- instalación de un sistema de microondas y la de un sistema por ca--ble coaxial, depende de las condiciones del terreno; sin embargo,

la inversión de instalación por canal es en general menor para un sistema de microondas que para un sistema de portadora por cable, y el costo anual por concepto de mantenimiento para ambos sistemas es aproximadamente el mismo.

#### I.4.- ESTACIONES TERMINALES, ESTACIONES REPETIDORAS Y EQUIPO DE RESERVA.

##### I.4.1.- ESTACIONES TERMINALES.

Existen dos tipos principales de transmisores y receptores en las estaciones terminales para microondas con modulación en frecuencia y esta división se hace debido a la capacidad de información que manejan (baja y alta capacidad); a saber:

1.- Este tipo de transmisor emplea un oscilador al cual se le puede modular en frecuencia en forma directa, aplicándose la banda base. Un dispositivo que opera en la gama de las SHF y cumple con este requisito es el Klystron. La figura I.4.1. muestra un diagrama a bloques de un transmisor terminal con modulación directa.

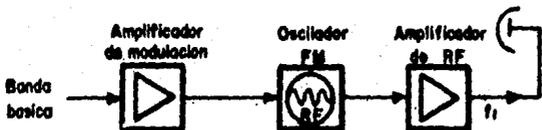


Fig. I.4.1.- Transmisor Terminal con Oscilador de RF Modulado en Frecuencia.

2.- Otro tipo de transmisor de una estación terminal es el que se presenta mediante un diagrama a bloques en la figura I.4.2., el cual consta de un oscilador que genera una FI (generalmente de 70 MHz), la cual se modula en frecuencia por la banda base. La portadora de FI, se traslada a la frecuencia de operación mediante una mezcla de frecuencia, llevada a cabo en el conversor con la participación de las señales  $f$  y FI. La señal  $f$  se genera en un oscilador que se denomina de radio frecuencia (RF). Generalmente se utiliza un amplificador de RF entre el oscilador de FM y la antena, con el propósito de proporcionar una alta potencia de salida y de aislar el oscilador de las reflexiones que provoca el alimentador de la antena.

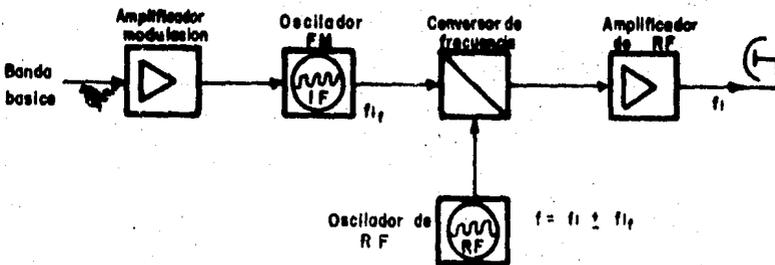


Fig. I.4.2.- Transmisor Terminal con Oscilador de FI Modulada en Frecuencia.



Los receptores terminales son del tipo superheterodino con un oscilador local estabilizado en frecuencia. La figura I.4.3., ilustra un diagrama a bloques de un receptor terminal de microondas.

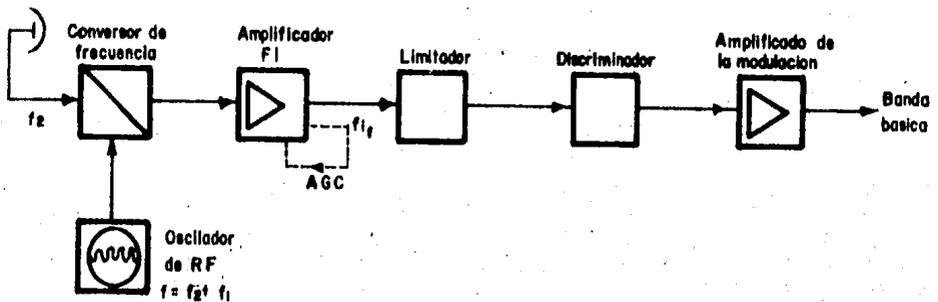


Fig. I.4.3. Diagrama a bloques de un receptor terminal de microondas.

#### I.4.2.- ESTACIONES REPETIDORAS.

Son equipos transmisores-receptores que integran un enlace de microondas.

Un equipo repetidor amplifica las señales débiles que



capta la antena receptora a un nivel de potencia lo suficientemente grande para retransmitirlas hacia la estación adyacente. En este caso el ruido y distorsión que se producen en las señale al pasar por el repetidor deben mantenerse a ciertos valores permitidos por las normas del C.C.I.R.

Las estaciones repetidoras que se colocan en los puntos intermedios de un enlace se clasifican en los siguientes tipos:

- a).- Repetidor Heterodino a nivel de FI.
- b).- Repetidor por Detección a nivel de Banda Base.
- c).- Repetidor Directo a nivel de RF.

**REPETIDOR HETERODINO.**- En este tipo de repetidora las frecuencias de microondas recibidas son trasladadas a frecuencias intermedias, amplificadas por etapas de frecuencia intermedia hasta el nivel requerido por el equipo y trasladadas de nuevo a frecuencias de microondas para su siguiente salto. Para ello, el repetidor de este tipo está provisto de dos conversores de frecuencia en recepción y transmisión. Es menester que se elija la frecuencia intermedia de tal manera que las frecuencias de video y de oscilación local no causen gran interferencia a otros canales de -

radio. Según los planes de asignación de frecuencias generalmente adoptados, la frecuencia está comprendida dentro de una banda de seguridad de las frecuencias asignadas, y la frecuencia de oscilación local se sitúa en el extremo de la banda de paso. Un ejemplo de lo antes mencionado puede expresarse por la fórmula siguiente:

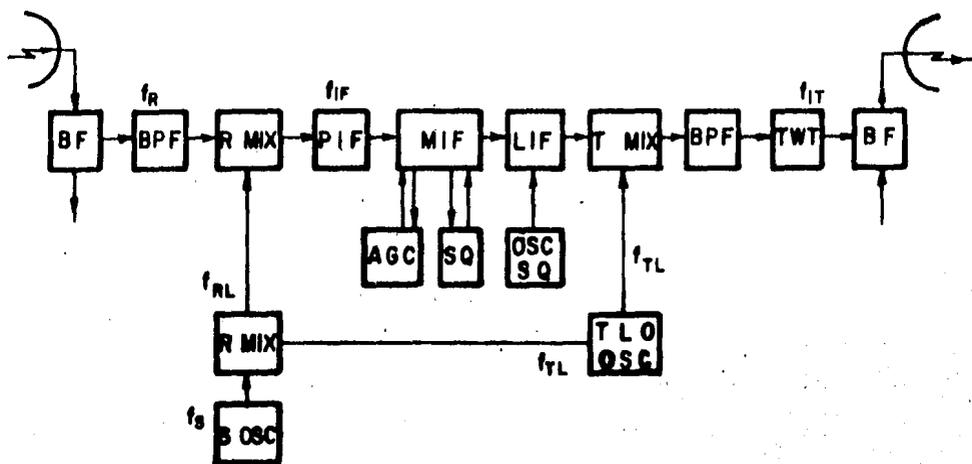
$$f_{IF} = f(2n + 1)/4$$

donde:

f es la separación entre frecuencias de transmisión y recepción.

n es un número entero positivo.

El valor de n está determinado principalmente por el factor de ruido de los tubos de vacío usados en los repetidores, la banda relativa y la ganancia. La mayoría de los sistemas modernos actualmente en servicio adoptan 70 MHz para la FI. En la figura I.4.4., se ilustra el diagrama a bloques de un repetidor heterodino.



- BPF.** Filtro de paso de banda.  
**BF.** Filtro de derivación.  
**R.MIX.** Mezclador de recepción.  
**T.MIX.** Mezclador de transmisión.  
**PIF.** Preamplificador.  
**MIF.** Amplificador principal de F.I.  
**LIF.** Amplificador de F.I. posterior.  
**SQ.** Circuito de silenciamiento.  
**TLO OSC.** Oscilador local de transmisión.  
**S OSC.** Oscilador de frecuencia de desplazamiento.  
**TWT** Tubo de Onda progresiva.

Fig. I.4.4.- Esquema a Bloques de un Repetidor Heterodino.

Como puede observarse, la señal  $f_R$  que entra en el equipo vía la antena y el filtro de derivación, pasa primero por el filtro de paso de banda que sirve para evitar la recepción de señales no deseables y la fuga de señales de oscilación local. En el mezclador de recepción la señal  $f_R$  es mezclada con la frecuencia de oscilación local  $f_{RL}$ , y convertida en una frecuencia intermedia  $f_{IF}$ .

La señal de FI entra en el mezclador de transmisión después de ser amplificada por el preamplificador de FI, el amplificador principal de FI y el amplificador de FI posterior. El preamplificador es un circuito de bajo nivel de ruido.

La señal de FI que entra al mezclador de transmisión es mezclada con la frecuencia de oscilación local  $f_{TL}$ , dando como resultado la frecuencia de transmisión  $f_T$ , la cual pasa por el -- filtro de paso de banda (BPF), y es amplificada por el amplificador de tubo de onda progresiva (TWT) para obtener el nivel de potencia adecuado. La señal  $f_T$  pasa a la antena de transmisión para su retransmisión a través del filtro de derivación BF.

Con el fin de evitar variación de la potencia de salida a causa de la fluctuación del campo eléctrico de recepción por desvanecimiento, el circuito está provisto de control automático de

ganancia que regula la ganancia del amplificador principal de FI - para que la potencia de salida de FI quede constante.

En caso de caída del campo eléctrico de recepción por debajo del nivel de umbral, se irradian en la antena de transmisión ruidos de banda ancha, dando interferencias a los radioenlaces instalados en paralelo. En atención a ello, el circuito está provisto de silenciamiento (squelch) que al caer la potencia de salida de FI por debajo de cierto nivel, desconecta el circuito de la etapa final del amplificador principal de FI para suprimir ruidos, y al mismo tiempo, excita el oscilador de silenciamiento (ondas sin modular de 70 MHz), evitándose en esta forma que el funcionamiento de los equipos instalados en las estaciones subsiguientes sean afectados adversamente. La señal de oscilación local de recepción se obtiene, por lo general, desplazando la señal de oscilación local de transmisión en la porción correspondiente a la separación " $f_s$ " entre las frecuencias de transmisión y recepción. Por consiguiente, la relación entre esas frecuencias de señal resulta como sigue:

$$f_R = f_{RL} - f_{IF} ; f_T = f_{TL} - f_{IF} ; f_{RL} = f_{TL} \pm f_s$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene la siguiente relación:

$$f_R - f_T = \pm f_s$$

Esta última ecuación significa que la estabilidad de la frecuencia de transmisión está relacionada sólo con el oscilador de frecuencia de desplazamiento y no tiene nada que ver con la frecuencia de oscilación local de transmisión. La separación entre la frecuencia de transmisión y la de recepción es normalmente de 40 a 500 MHz, dependiendo de la banda de frecuencias que se utilice. Frecuencias estables de tal orden se obtienen fácilmente -- usando osciladores a cristal. Con el método de repetición heterodina, la estabilidad de la frecuencia de recepción en la estación terminal de recepción de un radioenlace depende solamente de la -- frecuencia de transmisión que emite la terminal de transmisión. Pero, la desviación de la frecuencia de oscilación local correspondiente a cada repetidor intermedio, si hay, se transforma en la -- desviación de la frecuencia intermedia, causando el deterioro de las características de transmisión.

La confiabilidad del circuito de oscilación local está directamente relacionada con la del enlace en conjunto y por lo tanto, es de gran importancia. Existen varios tipos de osciladores entre los que podemos nombrar los siguientes:

1.- Oscilador a Klystron.

- 2.- Oscilador de tubo de onda progresiva (TWT o TOP).
- 3.- Oscilador de cristal y multiplicador de frecuencia.
- 4.- Oscilador a transistores.

El oscilador a Klystron es el más común de todos como oscilador de microondas y solía usarse inicialmente para receptores. Sin embargo, en vista de la desventaja de requerir muchos tubos de microondas y un circuito de control automático de frecuencia que hace la circuitería complicada, se ha utilizado el oscilador de tubo de onda progresiva.

Este oscilador efectúa la amplificación simultánea de  $f_T$  y  $f_{TL}$  en aprovechamiento de las características de banda ancha inherentes al tubo de onda progresiva, sirviendo un sólo tubo de onda progresiva para ambos fines de amplificación y oscilación.

La figura I.4.5., muestra el diagrama esquemático de un oscilador amplificador de tubo de onda progresiva (TOP).

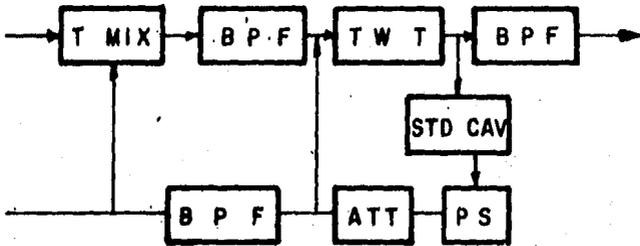


Fig. I.4.5.- Circuito común de Oscilación y Amplificación por tu bos de onda progresiva (TWT).

El tubo TOP con el que se efectúa la amplificación - simultánea de dos señales, necesita tener, como es natural, una - potencia de salida de saturación grande. Si se requiere alta potencia de salida de transmisión se hace grande su diferencia respecto a la potencia de salida de oscilación. Por esta razón resulta que la potencia de salida de oscilación es cambiada considerablemente por la variación existente en el funcionamiento de amplificación, y en el peor de los casos es probable que se interrumpa la oscilación. En previsión de esto, está insertado un -- circuito no lineal en la vía de realimentación para estabilizar - el funcionamiento de oscilación.

El repetidor heterodino ofrece las siguientes ventajas:

a).- Debido a que no se efectúa modulación-demodulación en cada punto de repetición, está exento de distorsión acumulativa en las características de transmisión que en otro tipo de repetidores tendrá lugar a causa del proceso de modulación-demodulación. Esto significa gran ventaja especialmente en el caso de la transmisión de televisión que demanda por su naturaleza, derivación e inserción de señales en numerosos puntos. Además, resulta sencilla la configuración del circuito.

b).- Permite obtener máximo provecho de la particularidad de la transmisión de FM, que se caracteriza por poca variación de nivel.

c).- Facilita la interconexión de distintos sistemas de transmisión; por ejemplo, entre los de 4000 MHz y 6000 MHz, -- con tal de que sean iguales sus respectivas bandas de frecuencias intermedias.

En vista de las citadas ventajas, este sistema de repetición está en uso para los equipos repetidores de troncales básicos en caso todas las partes del mundo.

En lo que respecta al método de suministro de fre--

cuencias de oscilación local para la traslación de frecuencias, - el sistema de repetición heterodino ha venido pasando diferentes etapas de desarrollo, tales como las que se detallan a continuación:

El repetidor del sistema SF-IB japonés empleaba un tubo klystron para la oscilación local como se observa en la figura I.4.6., y parte de su potencia de salida, en unión con la potencia de salida del oscilador de cristal, se utilizaba para desviar la frecuencia de recepción en 40 MHz. Más, este repetidor necesitaba un tubo de microondas para la oscilación local y también un mecanismo de control automático de frecuencia para estabilizar la frecuencia de oscilación.

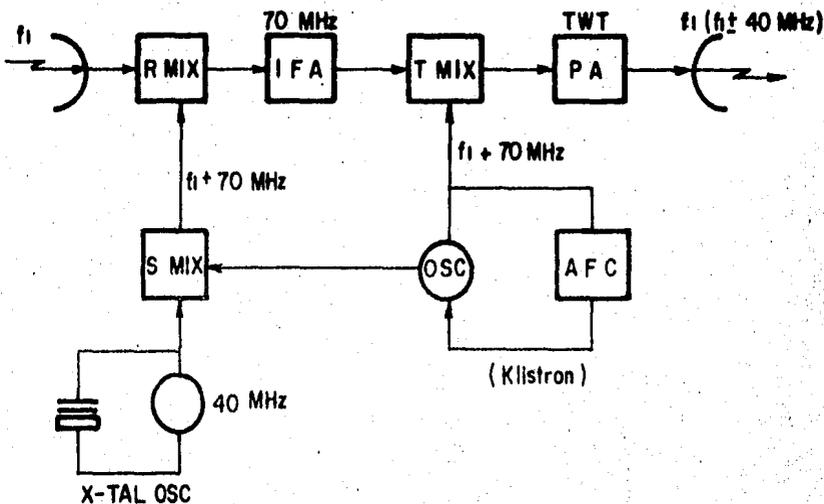


Fig. I.4.6.- Suministro de Señales de Oscilación Local.

Otro repetidor del sistema SF-B2, que siguió al anterior, adoptó el método común de oscilación y amplificación aprovechando las características de banda super ancha de un tubo de onda progresiva, como se ilustra en la figura I.4.7.

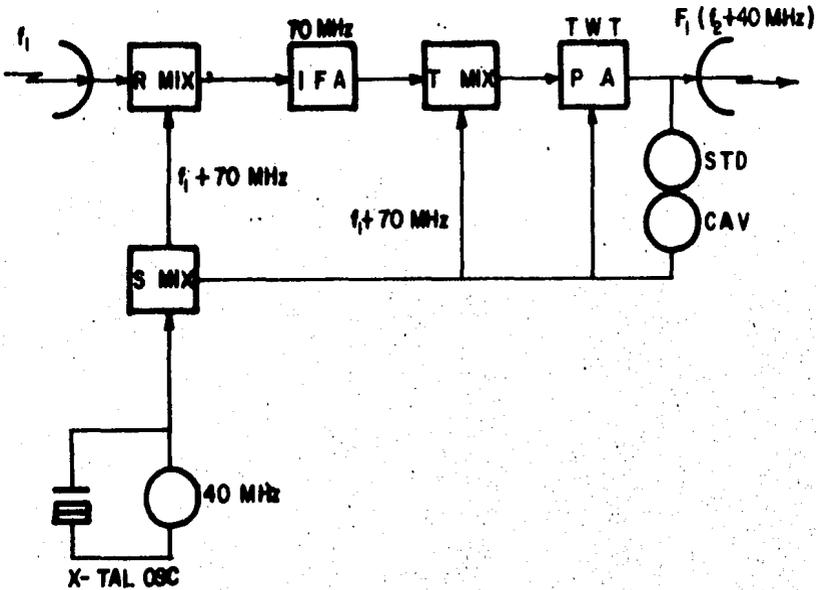


Fig. I.4.7.- Suministro de Señales de Oscilación Local.

Las características más sobresalientes de este sistema radican en que el empleo del tubo de onda progresiva común para la oscilación y amplificación ha permitido omitirse el tubo de microondas y el complicado mecanismo de control automático de fre

cuencia. Esto fué un adelanto trascendental. Pero, le acompañaban por otro lado, varias desventajas, una de las cuales consistía en que la potencia del tubo de onda progresiva que servía en común para la oscilación y la amplificación, tuvo que emplearse en su mayoría para el proceso de oscilación, quedando en consecuencia insuficiente la potencia de amplificación. Más, a pesar de ello, era atrayente la ventaja de oscilación por tubo de onda progresiva que no necesita mecanismo de AFC, y por consiguiente, los repetidores posteriores han pasado a emplear tubos de onda progresiva por separado para la oscilación y la amplificación de potencia. Recientemente se ha desarrollado otro sistema más avanzado gracias al adelanto de semiconductores. Según este sistema, la potencia de salida del oscilador de cristal es amplificada a una frecuencia relativamente baja (varias decenas de MHz), y se obtienen las señales de oscilación local mediante la multiplicación escalonada de frecuencia con ayuda de un diodo de capacitancia variable que causa poca pérdida en la traslación. Este sistema se ilustra en la figura -- I.4.8.

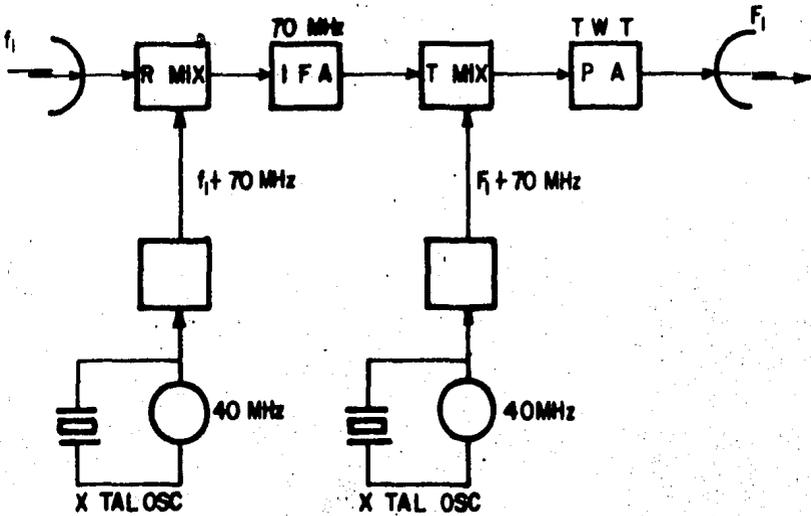


Fig. I.4.8.- Suministro de Señales de Oscilación Local.

**REPETIDOR POR DETECCION.** - Este sistema discrimina la señal de radiofrecuencia al nivel de banda base, modulándola nuevamente para su retransmisión. Por esta razón el proceso de modulación y demodulación en cada punto de repetición origina deterioro acumulativo en las características de la señal de transmisión. A pesar de esto, es un sistema de gran utilidad para enlaces telefónicos de corta distancia que enlazan ciudades pequeñas. Se puede usar repetidores de un mismo tipo tanto en las estaciones ter-

minales como en las repetidoras intermedias, lo que facilita la derivación e inserción de circuitos. La figura I.4.9., representa el diagrama esquemático de una estación repetidora por detección normal.

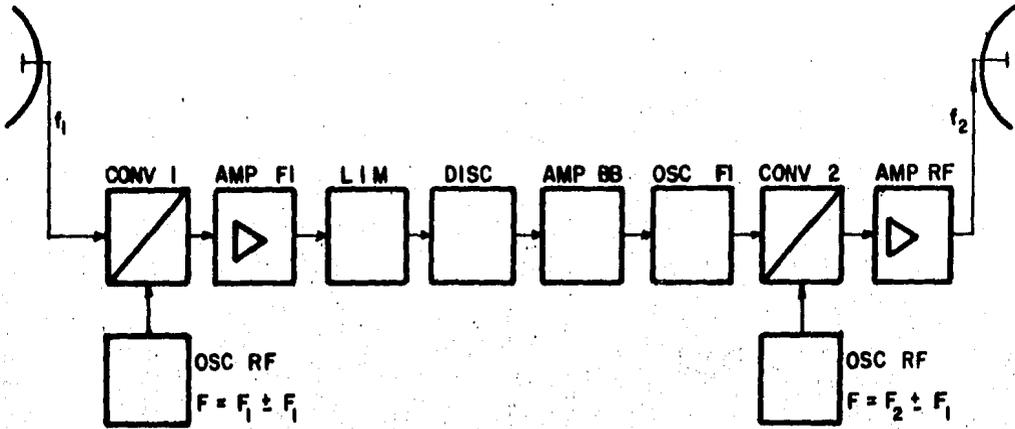


Fig. I.4.9.- Diagrama a bloques de un repetidor por detección.

**REPETIDOR DIRECTO.-** Este sistema amplifica las frecuencias de microondas directamente sin bajarlas a otras bandas de frecuencia. La figura I.4.10., representa el diagrama a bloques de un repetidor de este tipo:

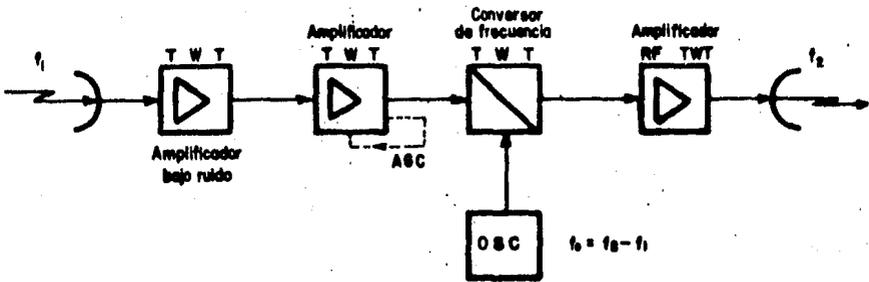
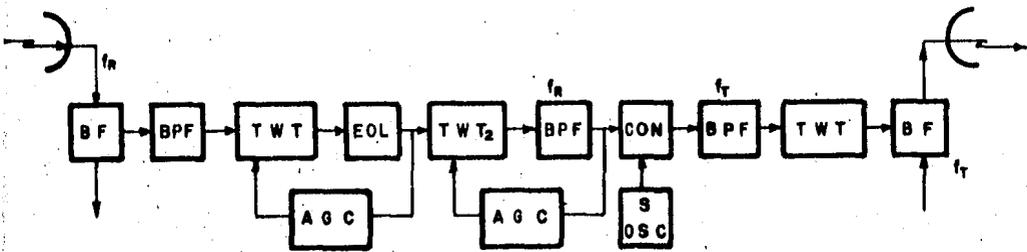


Fig. I.4.10.- Diagrama a bloques de un repetidor tipo directo.

Este tipo de repetidor emplea tres tubos TWT. La frecuencia de microondas de recepción es amplificada primero por el TWT de amplificación con bajo ruido y luego por el TWT de gran ganancia, después de pasar por el igualador de retardo. La salida del último TWT es convertida en una señal en frecuencias de microonda de transmisión por el convertor a diodo, y es amplificada finalmente por el TWT de amplificación de potencia para dirigirse luego hacia la antena. Entre los circuitos componentes están insertados aisladores para evitar la producción de distorsión por retardo.

El repetidor de este tipo se destaca por sus excelentes características de banda ancha. Permite la transmisión de -

1800 a 2400 canales telefónicos. El diagrama esquemático de este tipo de repetidor se ilustra en la figura I.4.11.



TWT 1: TWT para amplificación con bajo ruido.

TWT 2: TWT para amplificación con gran ganancia.

TWT 3: TWT para amplificación de potencia.

CONV : Convertidor de frecuencia.

Fig. I.4.11.- Diagrama Esquemático de un Repetidor Directo.

El repetidor tiene también dos circuitos AGC, el que corresponde a la amplificación con bajo ruido y que funciona de modo que la potencia de salida en transmisión permanezca constante al haber disminuido el nivel del campo eléctrico de recepción.

Ambos circuitos AGC controlan el voltaje de pantalla (rejilla) - del tubo TWT mediante la variación en la potencia de salida de dicho tubo.

Se hace notar que con amplificadores de TWT en general e inclusive este repetidor directo, las componentes de AM que contenga la señal, al amplificarse son convertidas en componentes de PM. Esta conversión de AM en PM ocurre debido a que las características de fase de salida de tubos TWT no son lineales y el índice de conversión se aumenta cuando se amplifican señales de gran amplitud. Tal conversión de AM en PM tiene que ser suprimida a un mínimo, en vista de que las componentes de AM son demoduladas para transformarse directamente en ruidos. A este efecto - está incluido el circuito AGC para el tubo TWT de amplificación - con bajo ruido. Además, se suprimen las componentes de AM en la parte de entrada del tubo TWT de amplificación de potencias, utilizando el efecto de limitación del convertidor a diodo.

Este tipo de repetidor se caracteriza por las siguientes ventajas:

a).- No requiere numerosos tubos de vacío para frecuencias bajas o para frecuencia intermedia.

b).- Las características de transmisión de señales -

quedan óptimas y estables.

A pesar de dichas ventajas se utiliza poco este tipo de repetidor debido a la dificultad de interconexión con los repetidores de tipo heterodino existentes y de derivación e inserción de señales en las repetidoras.

#### I.4.3.- REPETIDORES PASIVOS.

Un repetidor pasivo tiene como función interceptar - el haz de ondas electromagnéticas que viajan en una dirección y - redirigir la señal hacia otra dirección, basándose en las características de reflexión que presentan los conductores y también en la ley de Snell.

La diferencia de este tipo de repetidor con un repetidor activo es que en el repetidor pasivo la señal que incide no recibe ningún tratamiento como preamplificar, amplificar y cambiar de frecuencia, como lo hace una estación repetidora de tipo activo.

A pesar de estas condiciones de trabajo se emplean - repetidores pasivos en enlaces de microondas por línea de vista, tomando en cuenta que la atenuación de la señal será mayor al llegar a una estación repetidora activa.

Existen algunas condiciones que deben tomarse en cuenta para decidir emplear un repetidor pasivo entre las que podemos mencionar:

1.- Lugares en los cuales no es posible instalar alimentación eléctrica.

2.- Lugares de muy difícil acceso para su mantenimiento.

3.- Si es corta la distancia a la cual se encuentra la estación repetidora o terminal más próxima, también se puede emplear un repetidor pasivo y así disminuir los efectos de atenuación que puede presentar un cable coaxial de más de 70 m. de largo o una guía de ondas. Este efecto se observa en las antenas tipo periscopio.

4.- Pudiera pensarse que el costo de un repetidor pasivo es menor que el de un repetidor activo, pero con el análisis de costos de cada tipo de repetidor, en el cual resultan aproximadamente iguales, podemos concluir que no sería una razón justificada para elegir el uso de un repetidor pasivo.

Como el repetidor pasivo intercepta la radiación electromagnética que proviene de una estación activa (terminal o repetidora), hay que tomar en cuenta que al irradiarse una onda --

electromagnética, su intensidad se distribuye en áreas cada vez - más grandes. Por esta razón entre más grande sea el área del reflector, mayor cantidad de señal se redirigirá hacia el nuevo punto de recepción. Pero esta área no deberá ser demasiado grande - ya que hay que considerar que las velocidades del viento pueden - mover al reflector y cambiar así su ángulo de reflexión y su área efectiva.

Los repetidores pasivos son de aluminio y pueden -- construirse por secciones o paneles, los cuales son unidos mediante remaches de alta rigidez como los empleados en la fabricaciónde aviones. Estos remaches se colocan en los dobleces o pestañas alrededor del área que forma el panel.

En la cara reflectora del pasivo no deben existir imperfecciones, ésto quiere decir que deberá ser una superficie pulida y sin bordes para evitar reflexiones en otras direcciones, - por esta razón al unir paneles de aluminio cuyo grueso sea de - - 0.064' (0.0192 m.), se empleará una resina epóxica en vez de soldadura de aluminio, esta resina tiene la finalidad de evitar el - fenómeno de corrosión.

La calidad del trabajo debe ser excelente y esto se prueba haciendo rodar uniformemente un alambre delgado sobre la - superficie. También se checa que la presión ejercida por el viento

to sea soportable por la superficie sin sufrir deformaciones.

A la superficie reflectora de un pasivo se le puede permitir una irregularidad que esté dentro de  $\lambda/8$ . Existen estudios acerca de esta irregularidad en la superficie y se ha logrado determinar que a diferentes frecuencias de operación se le permiten diferentes valores en la irregularidad superficial.

Las especificaciones para la rigidez de un repetidor pasivo se basan en el ancho del haz de la señal reflejada y también consideran la frecuencia de operación y la dimensión del pasivo. Los pasivos se deben diseñar para observar un alto grado de exactitud en su posición, aún bajo las peores condiciones atmosféricas.

#### I.4.4.- EQUIPOS PARA EL CIRCUITO DE RESERVA.

Se requiere contar con un circuito de reserva para la transferencia automática a éste de un circuito de trabajo, así como también para la transmisión de diversas señales de servicio en la tarea de reparación de este circuito, la supervisión de las repetidoras intermedias, la transmisión de códigos de control y de supervisión y la comunicación telefónica de servicio.

Este circuito de reserva se establece por diversos -

sistemas, siendo los principales los siguientes:

1.- Enlace instalado en paralelo con los de microondas, en la banda de VHF (principalmente en 250 MHz).

2.- Enlace establecido dentro de la misma banda de frecuencias de microonda, utilizando antenas comunes.

3.- Enlace que ocupa la parte fuera de banda de las señales telefónicas múltiplex alojadas en los enlaces de trabajo.

Para rutas con mucho tráfico puede requerirse el empleo de varios canales simultáneos de RF independientes por la transmisión y recepción sobre la misma ruta, empleando la misma antena. La figura I.4.12., muestra un repetidor para tres canales de RF.

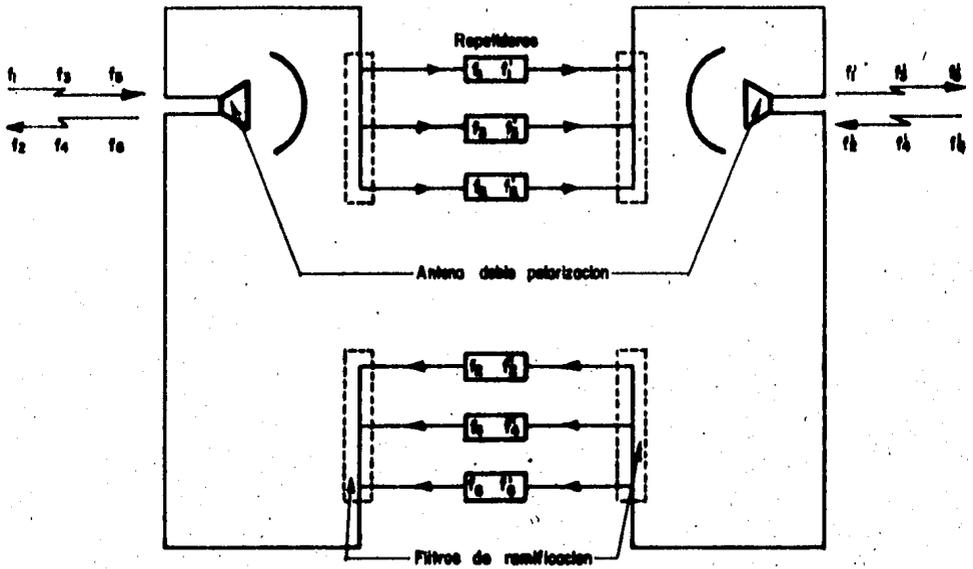


Fig. I.4.12.- Equipo para el Circuito de Reserva.

En este caso cada antena transmite y recibe tres canales de RF simultáneamente. Se emplea un alimentador con doble polarización y filtros de ramificación, los cuales se emplean para separar los canales de RF individuales.

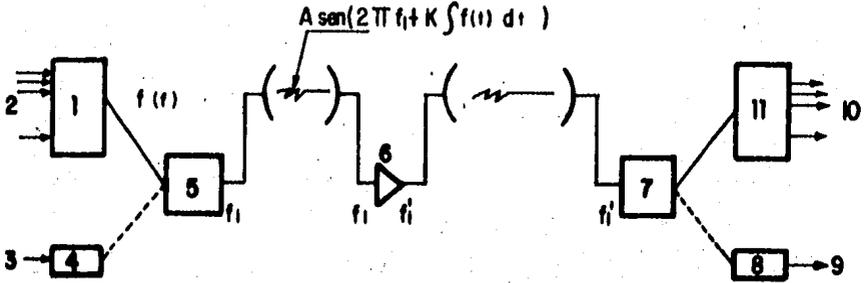
En la estación terminal de microondas existen dos an

enas, filtros de ramificación y el transmisor terminal o el receptor conectado al paso de FI. Con el propósito de poder conmutar el canal de RF en una emergencia, las terminales de entrada y salida de los pasos de frecuencia intermedia se conectan al panel de conmutación del canal de RF y luego se conectan al equipo modulador o demodulador. Generalmente la estación repetidora no es entendida, sino que se emplea en equipos y circuitos supervisores, los cuales vigilan y controlan el funcionamiento del equipo en la estación repetidora y conmuta automáticamente el canal de microondas en operación al de protección.

#### I.5.- SISTEMAS DE COMUNICACION DE BANDA ANCHA.

Para cubrir la gran demanda de canales de telefonía, de televisión y de datos, los enlaces de microondas se emplean casi universalmente. Una de las principales razones por la que se utilizan enlaces de microondas es que el ancho de banda que se puede manejar para transmitir una cantidad grande de canales de información es bastante amplio, lo que permite manejar grandes cantidades de señales de información como pueden ser uno o más canales de televisión y también de voz; por ejemplo, 900 o 1800 canales.

Las numerosas señales vocales que llegan de la central telefónica, son convertidas en señales telefónicas múltiplex por el equipo terminal de portadora telefónica conforme al método de división de frecuencia y luego son conectadas al equipo terminal de radio. Si se trata de transmisión televisiva las señales de video que llegan del estudio vía el enlace de televisión alámbrico o inalámbrico, entran al equipo terminal de radio. Esto se ilustra en la figura I.5.1., la cual nos representa un diagrama a bloques de un radio enlace de banda ancha.



- 1.- Estación terminal de portadora
- 2.- Central interurbana
- 3.- Estudio de TV
- 4.- Estación terminal del enlace de TV
- 5.- Estación terminal de radio
- 6.- Repetidor/estación repetidora
- 7.- Estación terminal de radio
- 8.- Estación terminal de enlace de TV
- 9.- Estudio de TV
- 10.- Central interurbana
- 11.- Estación terminal de portadora

Fig. I.5.1.- Diagrama de Bloques en un Radioenlace de Banda Ancha (una sola dirección).

En el equipo terminal de radio las microondas son moduladas en frecuencia por las señales telefónicas múltiplex o las de televisión, cualesquiera que correspondan, emitiéndose hacia la estación repetidora vía la antena. La señal que aparece a la salida de la terminal de radio puede representarse en forma de una onda modulada en frecuencia como sigue:

$$A \sin (2\pi f_1 + K/f(t)dt)$$

donde:

"f(t)" es la señal de entrada a la estación terminal de radio.

Por toda la sección de repetición a partir de dicha estación terminal en adelante, la potencia se transmite en forma de la onda modulada antes indicada. Es decir, que la potencia pasa por las guías de onda, antenas, trayectos de propagación y repetidores, siempre en esa forma.

Las ondas de FM emitidas en un haz estrecho por la antena de la estación terminal de radio, llegan a la estación repetidora que se ubica a una distancia aproximada de 45-70 Km., de donde se enrutan hacia la repetidora siguiente, después de amplificarse a un valor establecido la potencia que ha sido atenuada en el trayecto de propagación. Por lo tanto, el repetidor debe tener una ganancia lo suficientemente grande para compensar la pérdida -

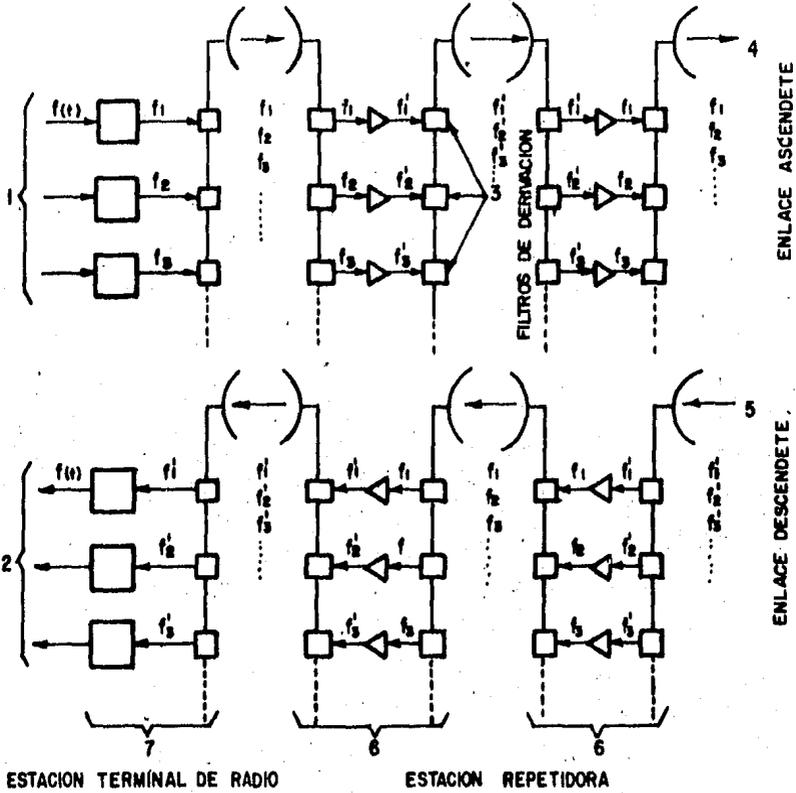
de propagación. Por otro lado, la propagación de las ondas de radio está sujeta al desvanecimiento, por lo que la potencia de -- transmisión tiene que ser controlada en ganancia automáticamente para que continúe hacia la próxima repetidora con un valor aproximadamente constante. Además, las señales deben ser amplificadas correctamente sin que sufran ninguna distorsión. Las ondas de FM en especial deben estar libres de toda distorsión de fase. A diferencia de los sistemas de comunicación alámbrica, no se puede utilizar una misma frecuencia para las frecuencias de entrada y salida del repetidor, ya que se debe evitar interferencia de la energía de un repetidor a otro, por dicha razón se efectúa la -- traslación de frecuencia como se aprecia en la figura I.5.1.

La frecuencia de corrimiento se mantiene constante, siendo del orden de 40 MHz por lo general. En esta forma, la onda de FM es trasladada en frecuencia cada vez que pasa por un repetidor.

De este modo, las ondas de FM que han pasado por varias estaciones repetidoras llegan a la estación terminal de radio, en donde son amplificadas y detectadas para demodularse finalmente a las señales telefónicas múltiplex o de televisión originales "f(t)". Las señales demoduladas entran en la estación -- terminal de portadora y son separadas en numerosas señales vocales para su posterior transmisión hacia la central telefónica o -

al estudio de televisión vía el enlace de televisión.

Lo anterior ha sido la explicación de un tipo fundamental de radio-enlace de microonda de banda ancha. Desarrollando un poco más este tipo, podemos considerar a continuación otro caso en el que se instalan en paralelo varios enlaces ascendentes y descendentes (bidireccionales), cuyo resultado está ilustrado en la figura I.5.2.



1.- De la Estación Terminal de Portadora Telefónica.  
 2.- A la Estación Terminal de Portadora Telefónica.  
 Fig. I.5.2.- Diagrama a Bloques Simplificado de Varios Enlaces Instalados en Paralelo.

Como es económico emplear una antena común para varios repetidores, normalmente se colocan en una estación repetidora un total de 4 antenas bidireccionales, y se les conectan tranceptores como se ilustra en la figura anterior. Por consiguiente, pasan por la guía de onda conectada a la antena las diferentes frecuencias. De ahí la necesidad de filtros de derivación que se colocan en ambos lados de recepción y transmisión para distribuir a los repetidores las respectivas frecuencias  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  procedentes de la antena y para encaminar hacia las antenas sin interferencia mutua, las frecuencias  $f'_1$ ,  $f'_2$  y  $f'_3$  que salen de los tranceptores correspondientes.

Los filtros de derivación consisten en circuitos de microondas, como guía de onda, stripline y microcinta.

Como se desprende de la figura I.5.2., se transmiten de la repetidora ondas de una misma frecuencia en una dirección y se reciben ahí de la dirección contraria ondas de otra frecuencia en el caso del plan de dos frecuencias. En vista de ello, las antenas deben tener una directividad excelente para poder evitar interferencias mutuas, y al mismo tiempo no debe ocurrir acoplamiento mutuo entre antenas contiguas. Asimismo, las antenas deben funcionar en bandas anchas, como por ejemplo, de 3600 a 4200 MHz, ya que se usan en común para las frecuencias de varias rutas.

Podemos concluir que un radio-enlace de banda ancha se compone de los siguientes equipos principales.

- 1.- Equipo terminal de radio de transmisión.
- 2.- Equipo terminal de radio de recepción.
- 3.- Equipo repetidor.
- 4.- Antenas.
- 5.- Guías de onda.
- 6.- Filtros de derivación.
- 7.- Estación terminal de portadora telefónica.
- 8.- Equipos del enlace de televisión.
- 9.- Equipos de Supervisión y Control.
- 10.- Equipos de alimentación y energía.

#### I.6.- PLAN DE FRECUENCIAS.

La distribución de frecuencias de los canales de ra diofrecuencia de los enlaces de microondas que emplean repetidores, está basado en las recomendaciones del Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (C.C.I.R.). Se define un plan de frecuencias para cada banda destinada a las comunicaciones en el espectro de super altas frecuencias (SHF), en función de la ca pacidad del sistema, del número de canales telefónicos; ésto es, de acuerdo al número de canales telefónicos se recomienda el núme ro de canales de radiofrecuencia que pueden acomodarse en una ban da, el espaciado entre ellos y la frecuencia de canales principales y suplementarios.

Los planes de frecuencia dan también recomendaciones para el número de canales de radiofrecuencia que pueden operarse en paralelo empleando la misma antena, e incluyen sugerencias para la polarización apropiada que debe emplearse.

El seleccionar un plan de frecuencias adecuado para un enlace vía microondas de acuerdo con las normas de el C.C.I.R. nos permite:

- 1.- En enlaces internacionales es la única forma de que coincidan las frecuencias de operación de sistemas de repeti-

dores de diferentes administraciones telefónicas o de televisión, lográndose con ésto la interconexión y el empleo de las facilidades de las redes existentes en diferentes países.

2.- Reducir los efectos de la interferencia entre sistemas paralelos, lo cual es bastante más problemático en regiones fronterizas. Esta interferencia se disminuye si los países en cuestión emplean el mismo plan de frecuencias.

Los países de alta densidad de tráfico telefónico o de televisión requieren de muchos sistemas en paralelo para que cubran los requisitos exigidos, por lo que, para evitar interferencias mutuas entre sistemas, se requiere de una cuidadosa planificación en la distribución de frecuencias para los canales de radiofrecuencia (RF).

3.- Un mejor empleo del espectro electromagnético.

Un plan de frecuencias es de gran valía para el fabricante de sistemas y subsistemas de microondas, ya que con estos datos pueden diseñar sus dispositivos o equipos para que sean compatibles con otros fabricantes de diferentes países.

Todas las normas editadas por el C.C.I.R., son el resultado de la experiencia de muchos años de estudio sobre el comportamiento de los radioenlaces realizados por investigadores,

profesionales, radioaficionados, etc., de todas partes del mundo, los cuales se reúnen en conferencias cada cinco o diez años para llevar los resultados de sus estudios obtenidos durante ese lapso de tiempo.

Como ejemplo podemos mencionar "la disposición de - canales radioeléctricos para sistemas de repetidores analógicos - con capacidad de 60, 120, 300 o hasta 960<sup>++</sup> canales telefónicos o sistemas digitales de baja y media capacidad con ancho de banda - equivalente que funcionan en la banda de 2 GHz (Recomendación - - 283-3)<sup>+</sup>.

Para este caso se nos indica que el espectro de fre cuencias puede ser dividido en cuatro bandas de frecuencias que - son:

- a).- De 1700 a 1900 MHz.
- b).- De 1900 a 2100 MHz.
- c).- De 2100 a 2300 MHz.
- d).- De 2500 a 2700 MHz.

Como puede observarse, el ancho de banda para cada caso es de 200 MHz. Además se recomienda que en una banda de 200 MHz es conveniente acomodar hasta seis canales radioeléctricos de ida en una mitad de la banda y seis canales radioeléctricos de re torno en la otra mitad de la banda.

La disposición de las frecuencias de los canales radioeléctricos para seis canales de ida y seis de regreso, como máximo, cada uno de ellos formado por 60, 120, 300 o hasta 960++ canales telefónicos o para sistemas digitales de ancho de banda de RF., equivalente y que funcionen en las cuatro bandas de frecuencias indicadas anteriormente, es la que se indica en la figura -- I.6.1., y se obtiene de la siguiente forma:

$$f_n = f_0 - 108.5 + 14n \quad \text{Mitad inferior de la banda.}$$

$$f_n' = f_0 + 10.5 + 14n \quad \text{Mitad superior de la banda.}$$

Donde:

$f_0$  : Frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada de 200 MHz.

$f_n$  : Frecuencia central del canal "n" radioeléctrico en la mitad inferior de la banda, en MHz.

$f_n'$  : Frecuencia central del canal "n" radioeléctrico en la mitad superior de la banda, en MHz.

n : 1, 2, 3, 4, 5 ó 6.

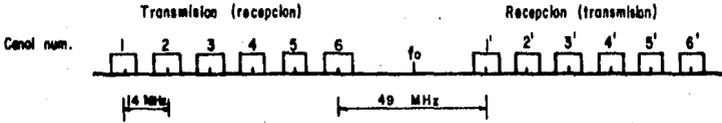


Fig. I.6.1.- Disposición de los Canales Radioeléctricos en la Banda de 2 GHz en Caso de Interconexiones Internacionales.

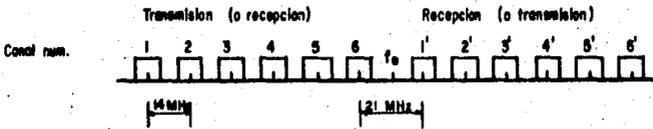


Fig. I.6.2.- Disposición de los Canales Radioeléctricos Referidos en la Página 52 (++++).

Si conectamos tres canales de ida y tres de regreso como mínimo, se economiza en sistemas de repetidores donde cada uno utiliza antenas comunes de transmisión-recepción. Además, si se utilizan antenas comunes transmisión-recepción y se transmiten tres canales radioeléctricos por una sola antena, se recomienda que las frecuencias de los canales se elijan utilizando la combinación  $n = 1,3,5$  en las dos mitades de la banda o la combinación  $n = 2,4,6$  en las dos mitades de la banda.

De ser necesario, emplear canales radioeléctricos adicionales intercalados con los canales de la disposición principal, donde los valores de las frecuencias centrales de estos canales radioeléctricos deberán ser 7 MHz superiores a los de las frecuencias correspondientes a los canales principales<sup>+++</sup>.

Para los canales radioeléctricos adyacentes en la misma mitad de la banda, convendría utilizar con referencia, polarizaciones diferentes de modo alternativo<sup>+++</sup>.

Se recomienda que las frecuencias centrales para cada banda sean las que se mencionan a continuación:

$F_0 = 1808$  MHz, para la banda 1700 a 1900 MHz.

$F_0 = 2000$  MHz, para la banda 1900 a 2100 MHz.

$F_0 = 2203$  MHz, para la banda 2100 a 2300 MHz.

$F_0 = 2586$  MHz, para la banda 2500 a 2700 MHz+++++.

Otras frecuencias pueden ser utilizadas, previo acuerdo entre las administraciones interesadas.

+ Se aplica únicamente a los sistemas con visibilidad directa o casi directa.

++ La disposición de esta recomendación para 960 canales se aplica sólo para la banda de 2500 a 2700 MHz.

+++ En sistemas para 960 canales telefónicos en la banda de 2500 a 2700 MHz, o en sistemas digitales de anchura de banda de RF equivalente, es posible que no sea práctico utilizar frecuencias intercaladas debido a la anchura de banda ocupada por la portadora modulada.

++++ Para los sistemas digitales de baja capacidad, puede utilizarse también la misma polarización de canales adyacentes.

+++++ En ciertos países, particularmente en la región 2, (Hemisferio Oeste) es preferible expresar las frecuencias de los canales en MHz, mediante las siguientes relaciones.:

$f_n = f_0 - 94.5 + 14n$  Mitad inferior de la banda.

$f_n' = f_0 - 3.5 + 14n$  Mitad superior de la banda.

Donde:

$n = 1, 2, 3, 4, 5$  o  $6$ . (Ver fig. I.6.2).

Los canales intercalados deben hallarse 7 MHz por de bajo de los canales principales correspondientes.

+++++ Se señala que la banda de 2690 a 2700 MHz es-  
tá destinada exclusivamente a la radioastronomía.

En la utilización del plan de frecuencias menciona-  
do, deben contemplarse las siguientes notas:

NOTA 1.- Si se utilizan las bandas 1900 a 2300 MHz ó 1700 a 2100 MHz para sistemas de relevadores radioeléctricos de gran capacidad y, en el mismo trayecto, para sistemas de relevadores radioeléctricos de 60, 120 o 300 canales que emplean la disposición de canales radioeléctricos anteriormente indicada, se reducirán considerablemente las posibilidades de interferencia mutúa siempre que se utilicen antenas distintas para los dos sistemas.

NOTA 2.- En los sistemas de hasta 300 canales telefónicos, podrán plantearse dificultades de explotación en un trayecto determinado, debido a la perturbación introducida por las señales de otras estaciones del sistema (sobreenlace), o por fenómenos similares. En tales casos podrán utilizarse frecuencias suplementarias situadas a 3.5 MHz de los valores anteriormente indicados, como frecuencias desplazadas.

NOTA 3.- Si se utiliza un sistema de 960 canales telefónicos, de conformidad con esta recomendación, se utilizarán - de preferencia los siguientes valores:

-- Valor eficaz de la excursión por canal: 140 KHz.

-- Frecuencia de la señal piloto de continuidad:  
4715 KHz.

-- Valor eficaz de la excursión para la señal piloto de continuidad: 100 KHz.

La figura I.6.3., muestra los valores correspondientes de frecuencias según las normas del C.C.I.R., de cada canal - de radiofrecuencia para tres segmentos de la banda de 2 GHz con - capacidades de 60, 300 y 1800 canales telefónicos.

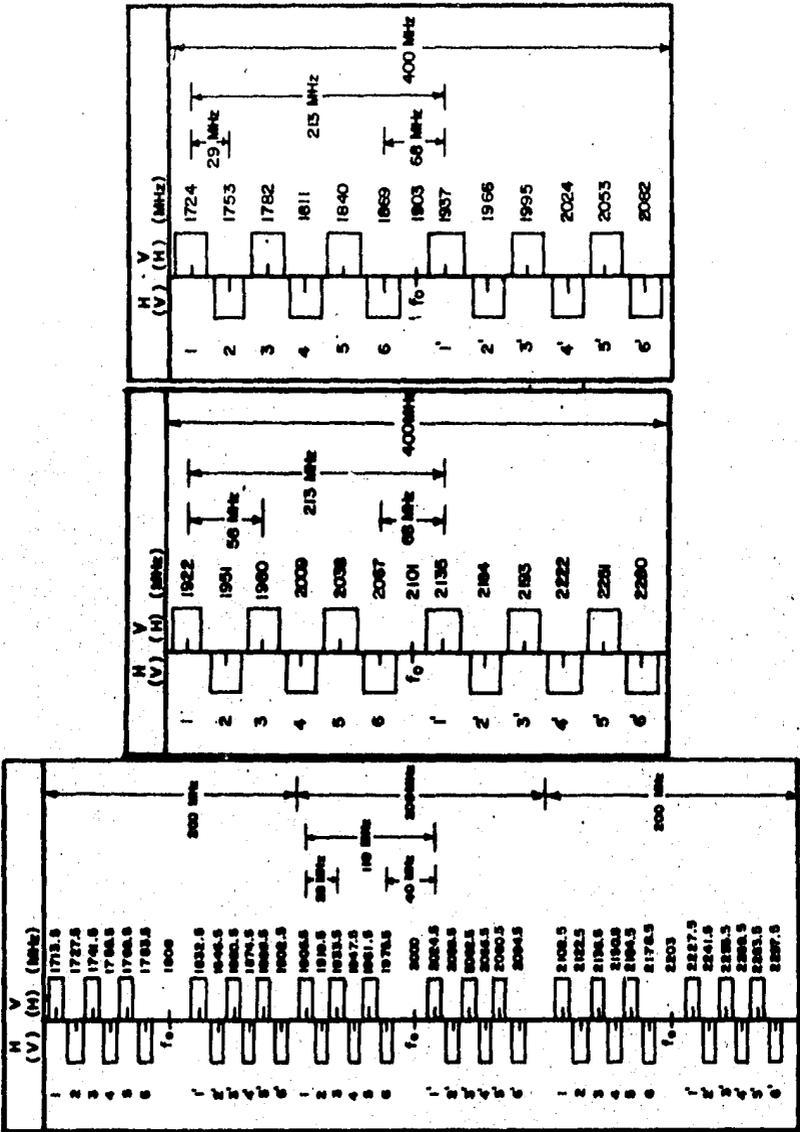


Fig. I.6.3.- Distribución de Canales Radioeléctricos en la Banda de 2 GHz.

## I.7.- PLAN DE MODULACION.

En sistemas de microondas por línea de vista y con repetidores, se pueden acomodar hasta 2,700 canales telefónicos. Existen dos métodos para acomodar estos canales telefónicos y son: la multicanalización por división de frecuencia (FDM)\* y la multicanalización por división de tiempo (TDM)\*\*.

### MULTICANALIZACION POR DIVISION EN FRECUENCIA.

La multicanalización por división de frecuencia para propósitos de transmisión y recepción, se lleva a cabo mediante un proceso sucesivo de modulación-demodulación en los equipos terminales de multicanalización (múltiplex), los cuales reciben los canales de voz y entregan una señal compuesta que lleva la información de todos los canales de voz, acomodados en frecuencia y conocida comunmente como banda base.

Al agrupar tres canales de voz se forma un pre-grupo. En este primer proceso de distribución, cada uno de los tres canales de voz modula en amplitud con doble banda lateral y porta

\* Ver Apéndice "A".

\*\* Ver Apéndice "B".

dora suprimida a una portadora individual de 12, 16 y 20 KHz respectivamente, como se puede observar en la figura I.7.1.

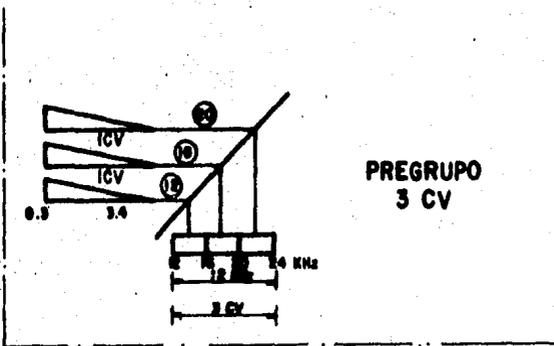


Fig. I.7.1.- Proceso de Distribución de 3 Canales de Voz en Frecuencia, formando un pre-grupo.

Después de la modulación se pasa la señal a través de un filtro pasabanda de 4 KHz de ancho de banda, seleccionando la banda lateral superior, como se ilustra en la figura I.7.2.

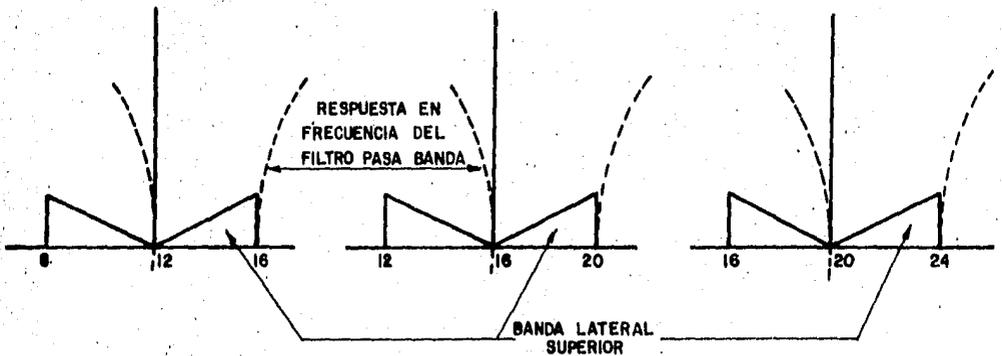


Fig. I.7.2.- Espectro en Frecuencia de 3 Canales de Voz, Modulados en Amplitud con Doble Banda Lateral y Portadora Suprimida a Portadora de 12, 16 y 20 KHz.

El resultado es que se tiene ahora una banda de frecuencia desde 12 a 24 KHz, es decir, se ha asignado una banda específica de frecuencias para cada canal de voz, o sea, que se ha logrado la distribución en frecuencia.

La figura I.7.3., muestra el procedimiento para la distribución de frecuencias de 12 canales telefónicos. El proceso es similar a la formación de un pregrupo, tomándose como base el ancho de banda de los 3 canales de voz ya agrupados, es decir, de 12 a 24 KHz.

Al agrupar cuatro pregrupos, cada uno de ellos modula ahora a una de las siguientes portadoras de 84, 96, 108 y 120 KHz en AM con doble banda lateral y portadora suprimida. El resultado de la modulación de cada portadora se hace pasar a través de un filtro pasabanda cuyo ancho de banda es de 4 KHz y que selecciona la banda lateral inferior. El resultado es ahora una banda de frecuencia que va desde los 60 KHz hasta los 108 KHz, destinando 4 KHz para cada uno de los doce canales de voz distribuidos, a este arreglo se le conoce como grupo básico de doce canales de voz.

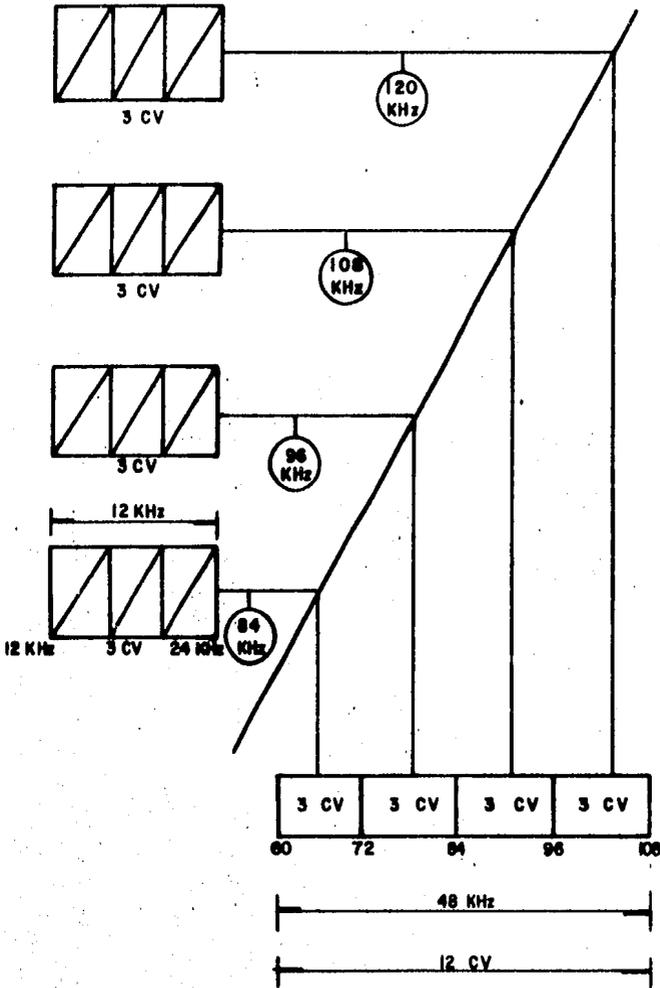


Fig. I.7.3.- Proceso de Distribución de 12 Canales de Voz en Frecuencia, formando un Grupo Básico.

El agrupamiento de cinco grupos primarios forman un supergrupo primario de 60 canales, según lo muestra la figura - I.7.4.

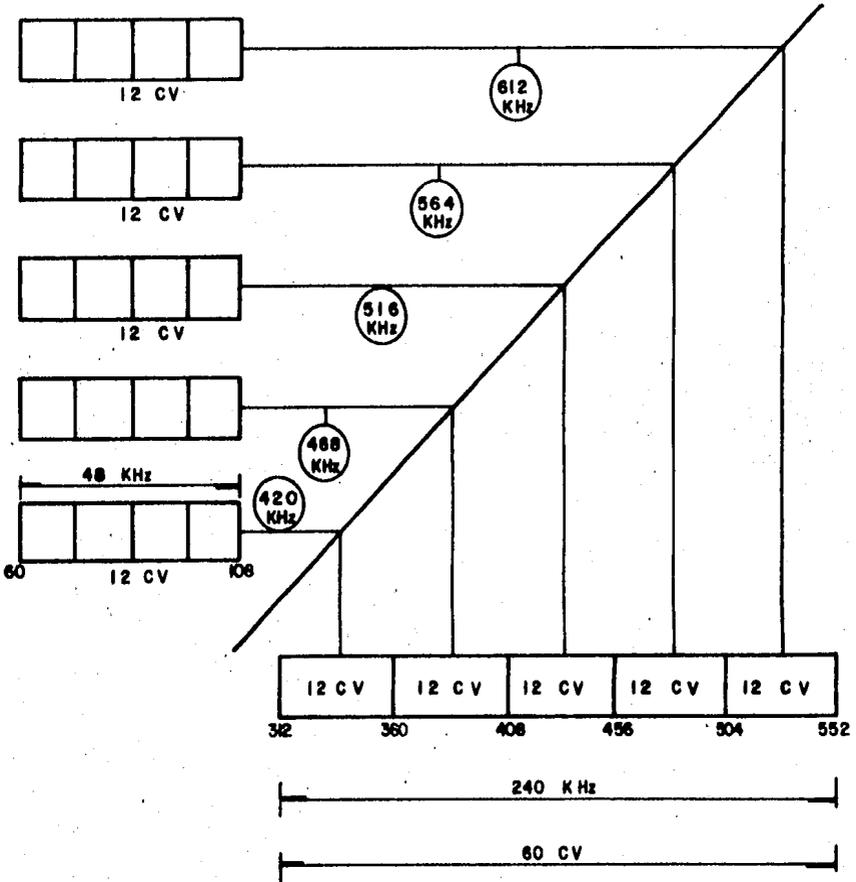
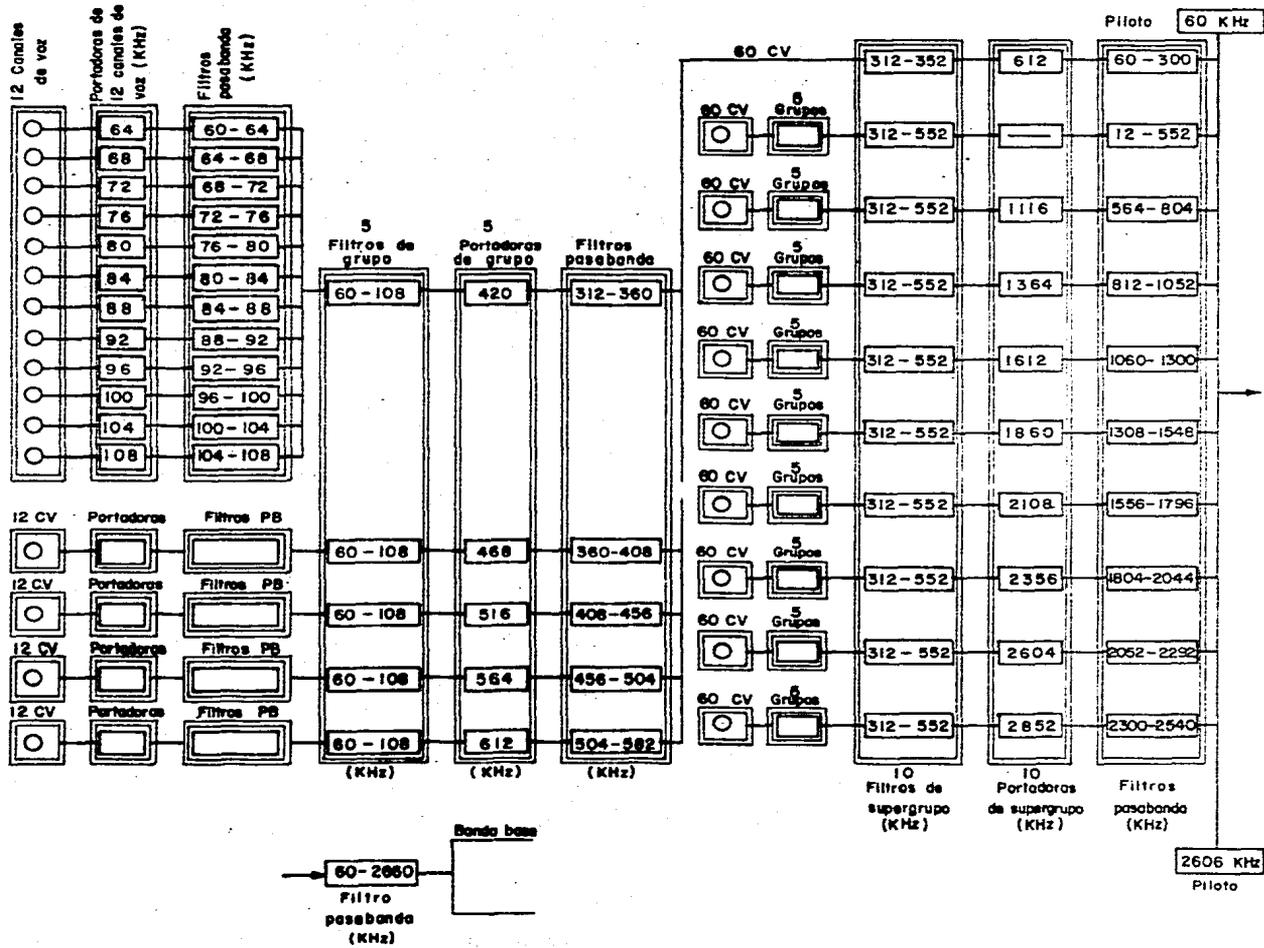


Fig. I.7.4.- Multicanalización de 60 Canales de Voz con Distribución en Frecuencia.

El agrupamiento de diez super-grupos primarios forman un ancho de banda de 600 canales telefónicos, según muestra la figura I.7.5.

El agrupamiento de dieciseis super-grupos primarios dan un ancho de banda para 960 canales de voz como se muestra en la figura I.7.6.

Fig. 1.7.5.- Representación de la Formación de 600 Canales de Voz.



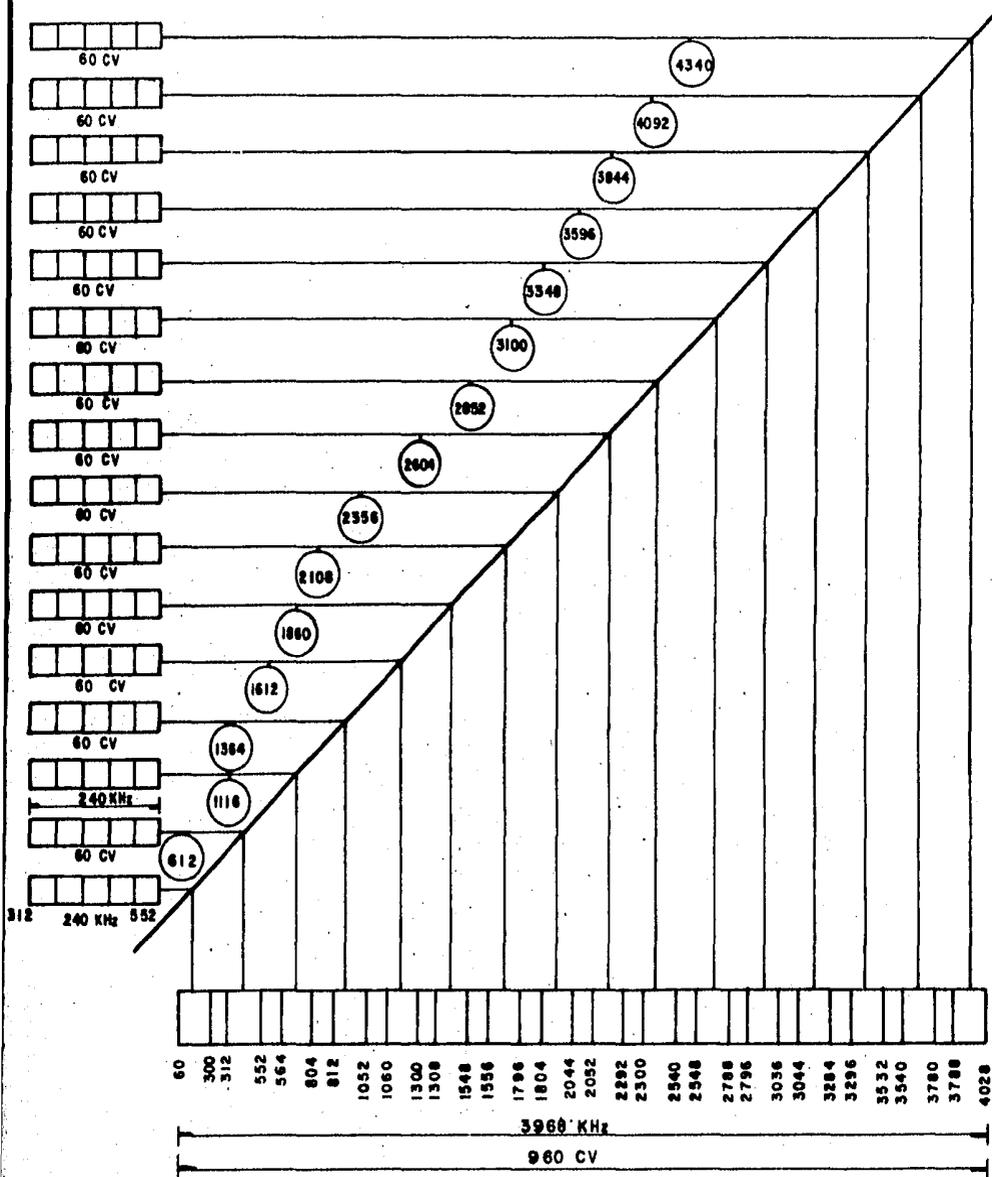


Fig. I.7.6.- Representación de la Distribución de 960 Canales de Voz.

## II.- PROPAGACION.

### II.1.- ATENUACION.

#### II.1.1.- ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE.

Es necesario analizar el comportamiento de la onda - electromagnética que parte de una antena y se irradia en el espacio libre. Este fenómeno se refiere a la pérdida de intensidad de la señal entre un transmisor y un receptor, en una región sin obstáculos y atmósfera normal. Puede representarse en dos formas, a saber:

- 1.- Atenuación por dispersión.
- 2.- Atenuación por absorción.

1.- La atenuación por dispersión se analiza a partir de la potencia de una señal emitida por una antena, esta señal se distribuye sobre áreas cada vez más grandes (frentes de onda esféricos), dando como resultado que la potencia de la señal que llega a la antena receptora es una pequeña fracción de la potencia emitida. Este concepto es básicamente la ley inversa de la propagación en óptica aplicado a la transmisión de las microondas. Este fenómeno se ilustra en la figura II.1.1.

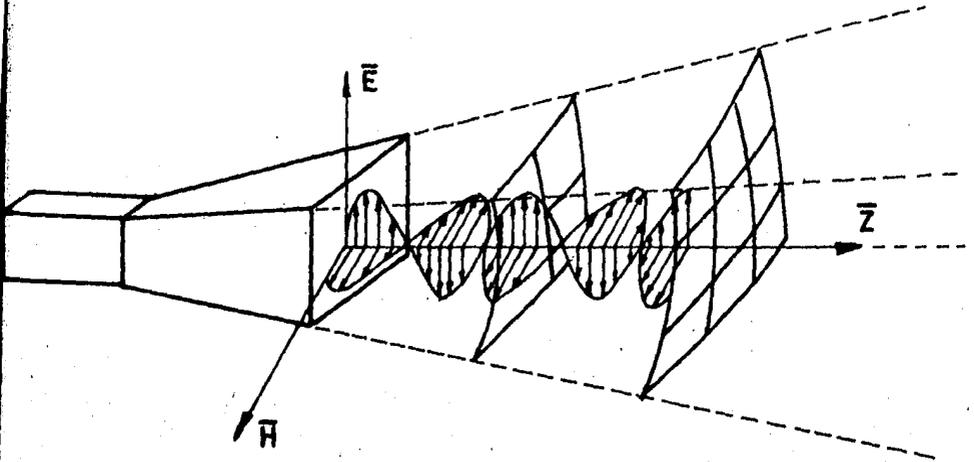


Fig. II.1.1.- Representación Esquemática de Atenuación por Dispersión.

Mediante estudios ya realizados se ha determinado una ecuación para el cálculo de la atenuación por dispersión ( $\alpha$ ), ecuación II.1.

$$\alpha \text{ (db)} = 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Kms)} + 32.46. \dots\dots\dots \text{ (II.1.)}$$

En base a cálculos desarrollados en la ecuación - - (II.1), se ha elaborado un nomograma para una rápida determinación de la atenuación, tal como se muestra en la figura II.1.2.

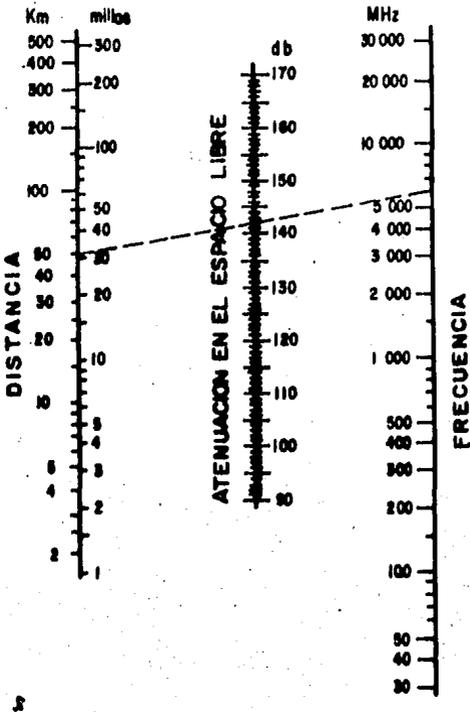


Fig. II.1.2.- Nomograma para Cálculo de Atenuación en el Espacio Libre.

2.- La atenuación por absorción se presenta a frecuencias de 10 GHz en adelante y consiste en la pérdida de la intensidad de la energía electromagnética, debido a que la longitud de onda de ésta es comparable a la separación entre moléculas en el espacio libre, las cuales entran en resonancia originando así la absorción de energía del frente de la onda electromagnética. Este fenómeno se ilustra en la figura II.1.3.

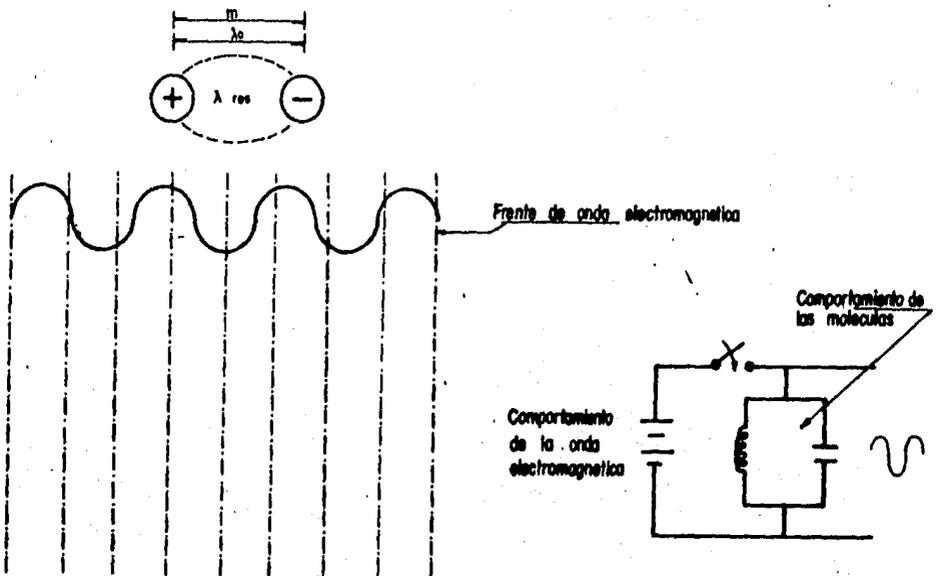


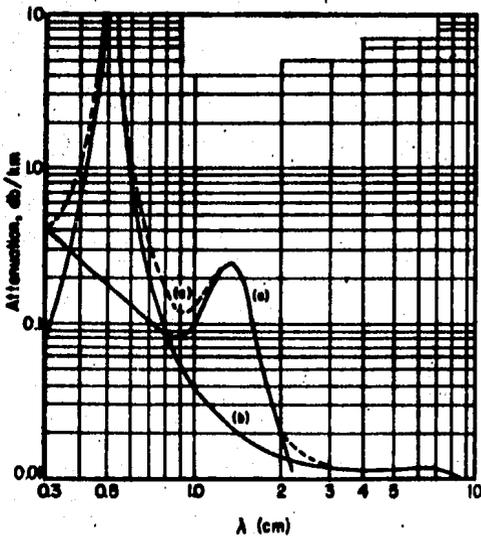
Fig. II.1.3.- Representación Esquemática de la Atenuación por Absorción.

Mediante estudios minuciosos se han logrado graficar las cantidades de absorción ocasionadas por variaciones atmosféricas como lluvia, nieve, neblina, granizo, vapor de agua sin condensar, oxígeno molecular y electrones libres en la atmósfera.

Como se dijo en un principio, este fenómeno será digno de tomarse en cuenta cuando la frecuencia de operación del sistema sea igual o mayor que 10 GHz.

ABSORCION ATMOSFERICA.

De los gases que componen la atmósfera, el vapor de agua y el oxígeno son los principales que absorben energía de la onda electromagnética que se propaga a través de ellos. El primero debido a su momento de dipolo eléctrico y el segundo debido a su momento de dipolo magnético. El vapor de agua presenta una máxima absorción alrededor de  $\lambda = 1.3$  cms., y el oxígeno alrededor de  $\lambda = 0.5$  cms. De la curva c) de la figura II.1.4., que representa la atenuación total, se observa que para longitudes de onda mayores de 3 cms., la atenuación es menor de 0.013 dB/Km., o menor de 1dB para un salto de 75 Kms.

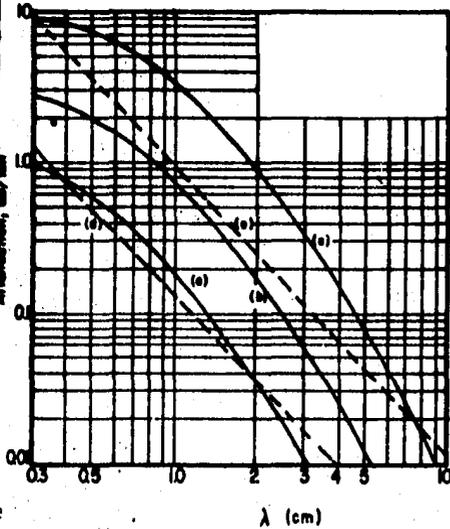


- a) Vapor de agua,  
10 g/m<sup>3</sup>  
(66% RM con 18°C)
- b) Oxígeno, presión  
15 cm  
Hg
- c) Atenuación total.

Fig. II.1.4.- Absorción debida al Vapor de Agua y Oxígeno.

DISPERSION ORIGINADA POR LLUVIA Y NEBLINA.

Las gotas de agua dispersan parte de la energía electromagnética del haz de microondas, originando una atenuación a lo largo del trayecto. La figura II.1.5., muestra la atenuación del haz electromagnético debido a la densidad de la lluvia y la niebla en función de la frecuencia.



- a) Lluvia 1 m m/hr.
- b) Lluvia 4 m m/hr.
- c) Lluvia 16 m m/hr.
- d) Niebla 0.39/m<sup>3</sup> (Visibilidad 120 m)
- e) Niebla 239/m<sup>3</sup> (Visibilidad 30 m)

Fig. II.1.5.- Pérdida de Dispersión debida a Lluvia y Niebla.

La atenuación debida a una densa niebla en un salto\_ de 65 kms., a una longitud de onda mayor de 4 cms., (7500 MHz) es\_ de aproximadamente 4.3 dB. Para  $\lambda = 5$  cms., la absorción y la dis\_ persión no son muy importantes.

A frecuencias inferiores de 10 GHz, la atenuación -- originada por la lluvia no interviene al determinar el espaciado - de las estaciones repetidoras. La distancia del trayecto se deter\_ mina por las características del terreno y la altura de las torres.

A frecuencias superiores a los 10 GHz, la separación entre estaciones está determinada por la atenuación originada por\_ la lluvia y a frecuencias superiores a los 19 GHz, el espaciado en\_ tre estaciones es de tan solo unos cuantos kilómetros.

### II.1.2.- GANANCIA DE UNA ANTENA.

La ganancia de una antena cualquiera, es la habilidad de concentrar la potencia radiada en una dirección y se define como la razón de la potencia radiada por una antena isotrópica a la potencia radiada por la antena en consideración cuando ambas antenas producen la misma intensidad de campo en la dirección en que se desea especificar la ganancia. Una antena isotrópica irradia o recibe energía igualmente en todas direcciones y aunque no se puede -- construir prácticamente, sirve como elemento de referencia, considerando que su ganancia en potencia es 1 (0 dB). Debido a que la potencia radiada por una antena o la potencia recibida por una antena receptora depende del área efectiva de las mismas, la ganancia también dependerá del área efectiva.

La ganancia de una antena se expresa comunmente en dB refereridos a un radiador isotrópico, el cual tiene un patrón de radiación ideal perfectamente esférico y una ganancia de 0 dB o una ganancia en potencia de 1. Sin embargo, en algunas ocasiones las ganancias de las antenas se les refiere a un dipolo de media onda, el cual tiene una ganancia de 2.15 dB relativa a un radiador isotrópico.

Para una antena formada por un radiador (dipolo o una antena tipo corneta), y un reflector parabólico, la eficiencia vie-

ne siendo de 0.54 a 0.65 del área geométrica, dependiendo de la posición del radiador con respecto al plano de apertura.

La ganancia mínima de este reflector parabólico viene siendo:

$$G = 10 \log 0.54 \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots (II.2)$$

Donde: D es el diámetro de la antena.

$\lambda$  es la longitud de onda a la frecuencia de operación.

## II.2.- REFRACCION DE LAS ONDAS MILIMETRICAS.

### II.2.1.- REFRACCION.

En sistemas de comunicaciones alámbricas, las señales que contienen la información están afectadas por pérdidas que se consideran prácticamente constantes, pero en sistemas de microondas se tienen variaciones de la señal que, debido a cambios instantáneos en el medio de transmisión, producen como consecuencia fuertes cambios en el nivel de ruido del sistema. Estas variaciones o desvanecimientos de la señal pueden disminuirse proyectando cuidadosamente los tramos de la ruta y efectuando pruebas de propagación en cada tramo del sistema, calculando teóricamente las condiciones de propagación esperadas durante las más adversas condiciones del tiempo que puedan ocurrir.

Las ondas milimétricas se transmiten casi en línea recta y se enfocan por medio de antenas de alta ganancia en haces concentrados que exhiben algunas propiedades de la luz:

1.- Atenuación por obstáculos y por la atmósfera.

2.- Reflexión del terreno y de partes planas tales como lagos y edificios.

3.- Difracción alrededor de objetos sólidos.

4.- Refracción o desviación por la atmósfera.

Los efectos de la atmósfera a las frecuencias de mi croondas, se deben a las variaciones de la constante dieléctrica o bien al índice de refracción "n" del medio respecto a la altura sobre la tierra. Se considera que la atmósfera está formada por capas esféricas que dependen de la temperatura T, la presión de la atmósfera P y la humedad p, según la fórmula del índice de refracción.

$$n = 1 + \frac{A}{T} + (P + \frac{BP}{T}) \times 10^{-6} \quad \dots\dots (II.3).$$

En donde T está en grados Kelvin (°K) y P y p en mi libarios y los factores A y B son constantes. El factor p es la presión parcial del vapor de agua y normalmente es el 1% de la presión atmosférica P.

Donde: A = 79 °K/mb.

B = 4800 °K

En realidad lo importante no es la curvatura de la tierra o la del haz sino la curvatura relativa de los haces respecto de la tierra, lo cual hace conveniente considerar la propagación de las ondas en línea recta sobre una tierra que tiene

una curvatura relativa.

El índice de refracción debe variar de tal manera - que su derivada respecto a la altura sobre la tierra sea la recíproca del radio de la tierra, por lo que la tierra podrá considerarse como plana modificando el índice de refracción  $n$  por un factor  $(1 + \frac{h}{R_T})$ . El índice modificado ( $N$ ) será entonces:

$$N = n(1 + \frac{h}{R_T}) = n + \frac{nh}{R_T} \quad \dots (II.4).$$

En donde:  $h$  es la altura sobre la tierra y  
 $R_T$  es el radio real de la tierra.

El índice de refracción modificado se expresará como:

$$N = n_0 (1 + \frac{h}{R_E}) \quad \dots (II.5).$$

En donde  $R_E$  es el radio efectivo de la tierra y  $n_0$  es una constante.

Para obtener el radio efectivo de la tierra se corrige el radio  $R_T$  por un factor  $K$ , es decir:

$$R_E = K R_T \quad \dots (II.6).$$

Donde:  $R_T = 6370$  Km.

El factor  $K = \frac{RE}{RT}$  define la dirección y el valor de la curvatura del haz con respecto a la curvatura de la tierra y cualquier cambio de  $K$  equivaldría a una variación de las condiciones de la atmósfera ya que el índice  $N$  no es variable. Para condiciones climatológicas normales y considerando que la variación de  $\frac{dn}{dh}$  es constante y de un valor de  $-3.66 \times 10^{-8} \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$  se tiene -- que  $K = \frac{4}{3}$ .

El valor normal de  $K$  de  $\frac{4}{3}$  se ha comprobado también a través de varios años de estudios experimentales y se considera que este valor ocurre más del 60% del tiempo.

Otras condiciones de propagación se muestran en la figura II.2.1.

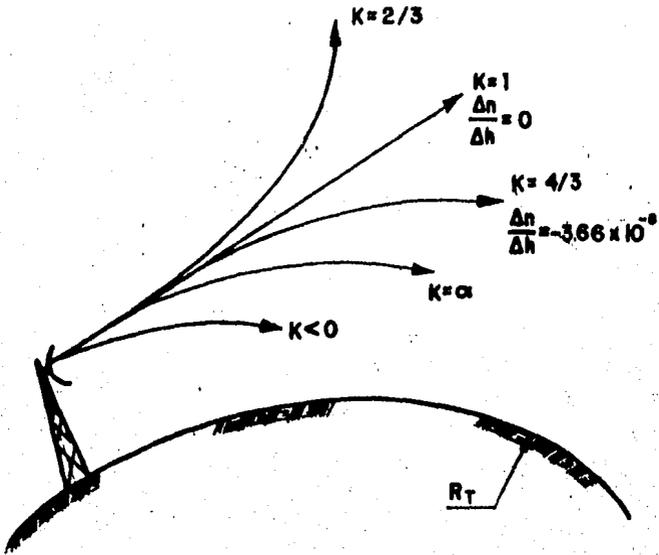


Fig. II.2.1.- Propagación de las Microondas con Diferentes Condiciones Atmosféricas.

Las variaciones de  $K = \frac{4}{3}$  hasta  $K = \frac{2}{3}$  ocurren aproximadamente durante 0.1% del tiempo, por lo que es conveniente efectuar pruebas de propagación durante el tiempo en que prevalecen las condiciones de atmósfera standard ( $K = \frac{4}{3}$ ), es decir, durante el día entre las 9:00 de la mañana y las 5:00 de la tarde. La confiabilidad del sistema depende grandemente de las variaciones de  $K$ , consecuentemente del terreno, del lugar y del tiempo. El aná

lisis de los resultados debe tomar en cuenta estas variaciones y - para obtener una buena confiabilidad del sistema se debe determi-- nar las alturas de las torres, basándose en variaciones de K hasta 2/3.

### II.2.2.- CURVATURA DE LA TIERRA.

Antes de efectuar pruebas de propagación entre los puntos que preliminarmente se han escogido, es necesario construir un diagrama del perfil del terreno entre los puntos, incluyendo las alturas de los puntos y de los obstáculos, tomados de mapas geográficos.

Como se mencionó anteriormente, se puede expresar cualquier cambio en la atmósfera como una variación equivalente del factor  $K$  que, multiplicado por el radio terrestre, da el radio efectivo de la tierra que equivale a la curvatura de la tierra menos la curvatura del haz de microondas. Cualquier cambio de  $K$  puede demostrarse gráficamente en dos maneras:

a).- Se hace gráfica del perfil sobre la curvatura efectiva de la tierra  $KR_T$  mostrando el haz de microondas como una línea recta, ó,

b).- La gráfica del perfil se hace sobre una superficie terrestre plana con el haz de microondas teniendo una curvatura relativa de  $KR_T$ .

Para facilitar el análisis de las pruebas de propagación, se traza el perfil con los datos tomados de los mapas y se -

corrigen las alturas por el factor equivalente a la curvatura efectiva  $KR_T$ , en otras palabras, se obtiene un perfil corregido que permite trazar el haz de microondas como una línea recta. Cualquier cambio de  $K$  corresponde a otra corrección del perfil, lo cual permite fácilmente visualizar los efectos de los cambios de la atmósfera. Se puede obtener una fórmula para la curvatura efectiva de la tierra para cualquier valor de  $K$  de la siguiente manera:

$$h = 0.0786 \frac{d_1 d_2}{K} \quad (\text{II.7})$$

Como se ilustra en la figura II.2.2.

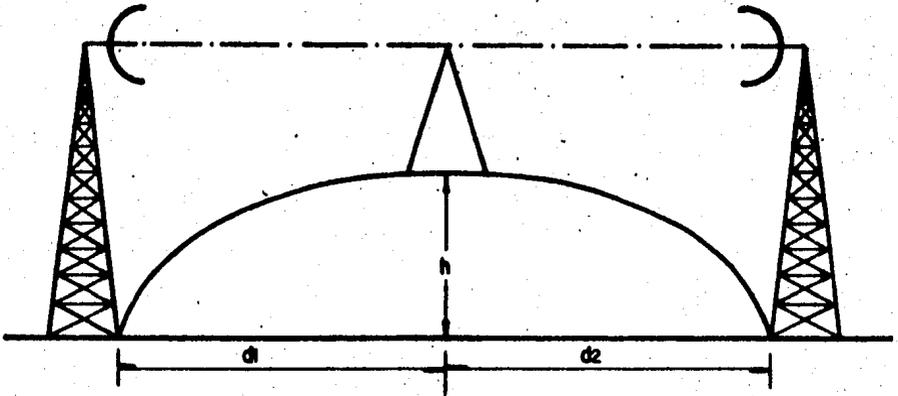


Fig. II.2.2.- Ilustración que Muestra el Perfil de la Tierra, Corregido.

### II.2.3.- ZONAS DE FRESNEL.

Hay que considerar que la presencia de la tierra cambia las condiciones de propagación ya que la señal recibida depende no solamente de la señal propagada por el espacio, sino también de las ondas que se hayan reflejado por el terreno.

Estas ondas reflejadas pueden llegar fuera de fase o en fase con la onda directa a la antena receptora, reforzando o -- disminuyendo la señal recibida y dependiendo de las características de los puntos de reflexión, pueden en ciertos casos cancelar -- por completo la señal recibida.

Las pruebas de propagación se efectúan principalmente para determinar los obstáculos y las reflexiones de los tramos del sistema de microondas y siendo que la señal recibida depende -- de estos factores, se efectúan dichas pruebas variando en manera -- determinada las alturas de las antenas del transmisor y del receptor, por lo cual es posible recabar datos para determinar posteriormente las alturas finales de las torres del sistema.

Cualquier obstrucción en la trayectoria de las ondas no dejará pasar la radiación y presentará una variación de la señal al cambiar las alturas de las antenas, primeramente debido a --

la sombra del obstáculo y también a la interferencia entre la onda directa del transmisor y la onda reflejada del obstáculo como se muestra en la figura II.2.3.

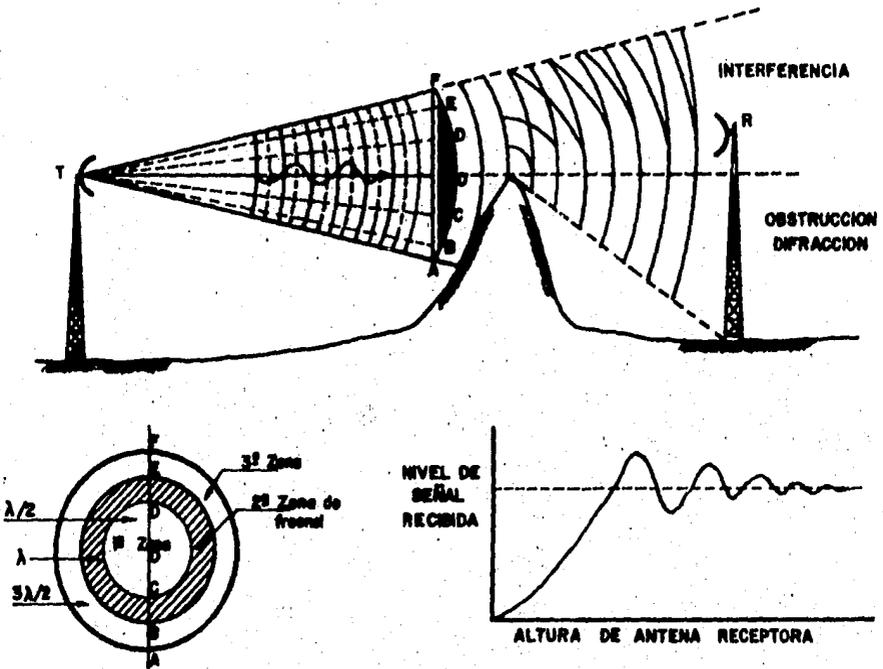


Fig. II.2.3.- Presentación Esquemática del Efecto de Difracción - por un Obstáculo en el Sistema de Transmisión. Vista Frontal de la Distribución de las Zonas de Fresnel y Gráfica de la Variación de la Altura de la Antena Receptora contra Nivel de Señal Recibida.

Los máximos y mínimos que se obtienen por interferencia representan las zonas de Fresnel que dependen de la diferencia de fase entre las ondas directa y reflejada. Todos los puntos en que la diferencia de fase es hasta media longitud de onda ( $\frac{\lambda}{2}$ ) se denominan la primera zona de Fresnel y de la misma manera, los límites de la zona de Fresnel número "n" consisten de todos los puntos en que la onda reflejada difiere por  $n(\frac{\lambda}{2})$  de la onda directa ( $n = 1, 2, 3, \dots$  etc.).

La fórmula general para el radio de cualquier zona "n" de Fresnel a cualquier distancia  $d_1$  del transmisor o  $d_2$  del receptor es:

$$r_n = \left( \frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)^{1/2} \quad \text{para } n = 1, 2, 3, 4 \quad \dots \text{ (II.8).}$$

## II.3.- DIFRACCION.

### II.3.1.- DIFRACCION.

Las ondas de radio también se transmiten alrededor - de la tierra por el fenómeno de difracción. La difracción es una propiedad fundamental del movimiento de onda.

El efecto de difracción alrededor de la curvatura de la tierra, es el que hace posible la transmisión más allá de la línea de vista. La magnitud de la pérdida originada por la obstrucción se incrementa cuando se incrementan la distancia o la frecuencia y depende de la altura de las antenas. La pérdida originada - por la curvatura de la tierra se muestra en el nomograma de la figura II.3.1.

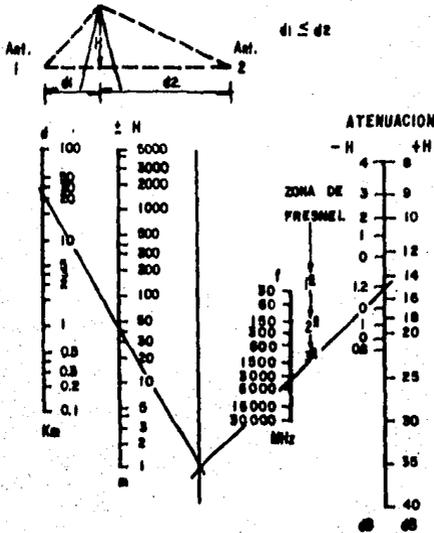


Fig. II.3.1.- Pérdidas de Difracción Debido a Obstáculos en la Trayectoria de Propagación.

Las pérdidas por sombra originadas por grandes obstrucciones tales como colinas y montañas, puede predecirse si estas obstrucciones están perpendiculares a la dirección de propagación y forman una barrera de difracción. Para este caso, puede emplearse la teoría de difracción de Fresnel empleada en óptica para el cálculo de la pérdida por sombra, la cual como se sabe, se suma a la pérdida de propagación en el espacio libre. En la -

figura II.3.1., también puede leerse la dimensión de la primera, segunda y tercera zona de Fresnel. Esta pérdida por sombra puede despreciarse si los obstáculos no interfieren con la línea de vista entre las estaciones. Las pérdidas se incrementan progresivamente con la altura de los obstáculos arriba de la línea de vista. El ángulo sustentado a la antena por el obstáculo es de gran importancia y así, una montaña de una altura dada, originará una pequeña pérdida si se encuentra situada a la mitad de la trayectoria que se encuentra en la vecindad de una estación. Las pérdidas por sombra se incrementan cuando disminuye la longitud de onda, o sea, que se incrementa la frecuencia. Si hay más de un -- obstáculo como ocurre frecuentemente, o la obstrucción no es tajante, o sea, que contenga filos muy agudos, sino que es una obstrucción redondeada y lisa, la pérdida puede estimarse sproximadamente mediante una interpolación gráfica como se muestra en la figura II.3.2.

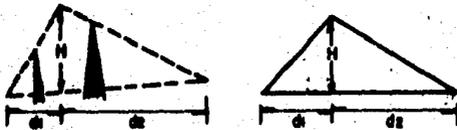


Fig. II.3.2.- Interpolación Gráfica para Determinar la Pérdida - por Sombra Originada por Varios Obstáculos.

Los diversos obstáculos se combinan en uno y se emplea la altura resultante  $H$  para estimar la pérdida de sombra mediante la gráfica de la figura II.3.1.

La exactitud de estas estimaciones depende en gran parte de los detalles de la configuración del terreno, pero para el 90% de los casos el error será de menos  $\pm 5$  dB. Sin embargo, la planeación del sistema no debe basarse exclusivamente en estas estimaciones. Deben realizarse pruebas de propagación en trayectorias con obstrucciones para tomar una decisión final sobre su confiabilidad.

Con una clara línea de vista, dichas pruebas sólo son necesarias si existen fuertes reflexiones por la superficie de la tierra o se esperan irregularidades atmosféricas.

Si es inevitable la propagación rasante, se forma una clase especial de obstáculo formado por la curvatura de la tierra. Aparte de los efectos atmosféricos, la transmisión de la onda se extiende algunos grados más allá del horizonte. La pérdida por este efecto se suma a la pérdida en el espacio libre y la figura II.3.3., ilustra un nomograma para su evaluación, considerando una tierra esférica y pulida.

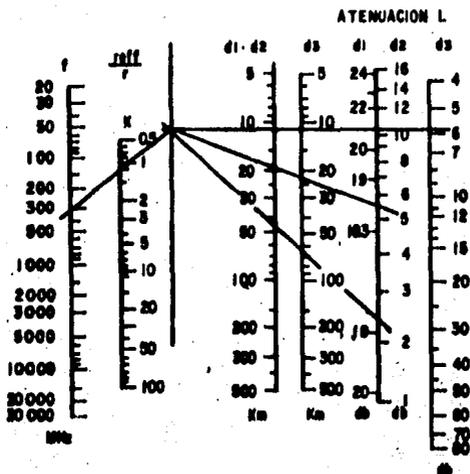


Fig. II.3.3.- Nomograma para Determinar las Pérdidas por Difracción Sobre el Horizonte. Se aplica para Polarización Vertical Sobre Tierra y Polarización Horizontal Sobre Tierra y Mar.

La contribución de la pérdida por sombra total se da en función de la distancia 'd' desde la antena hasta el horizonte, donde 'd' depende de la altura de la antena h de acuerdo =

con  $d = \sqrt{2rh}$ , donde  $r$  es el radio de la tierra. La pérdida determinada por la figura II.3.3., no se aplica para distancias más allá del horizonte en donde prevalece otro mecanismo de propagación en lugar de la difracción.

La pérdida producida por una propagación rasante a lo largo de una tierra curva y lisa es mayor que la que puede producir un obstáculo altamente difractante a la mitad de la trayectoria.

Para un enlace que vaya más allá del horizonte, un gran obstáculo puede dar una marcada ventaja de propagación y en esos casos se debe tratar de seleccionar la trayectoria, de tal manera que cruce una pronunciada obstrucción e investigar mediante pruebas de propagación si se obtienen las ventajas esperadas. Un método de salvar una obstrucción es mediante el empleo de reflectores pasivos.

II.4.- REFLEXION.

II.4.1.- REFLEXION EN UNA TIERRA PLANA.

La energía radiada desde una antena transmisora puede llegar a la antena receptora a través de diversas trayectorias de propagación, algunas de las cuales se ilustran en la figura -- II.4.1.

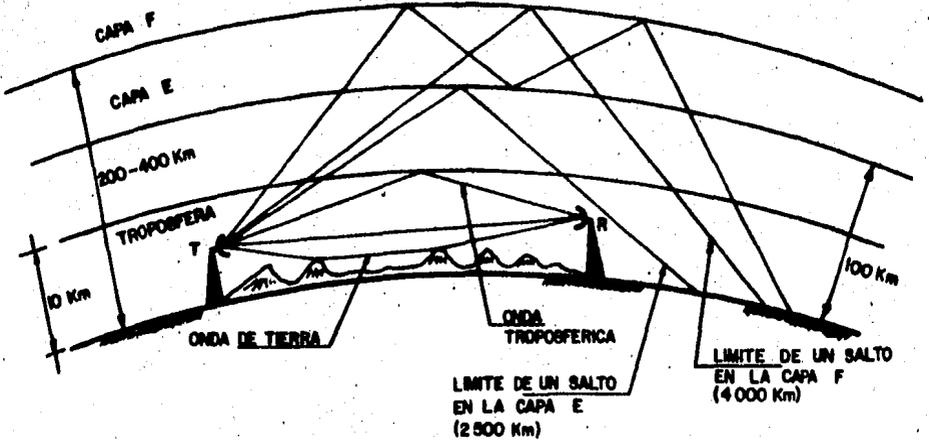


Fig. II.4.1.- Diferentes Trayectorias de Propagación de las Ondas Electromagnéticas.

Las ondas que llegan al receptor después de reflejarse o esparcirse en la ionósfera, se conocen como ondas de cielo u ondas reflejadas ionosféricamente. Las ondas que se reflejan en la tropósfera (la región de la atmósfera dentro de los 10 kms., a partir de la superficie de la tierra) son conocidas como ondas troposféricas. La energía propagada sobre otras trayectorias cerca de la superficie de la tierra se le conoce como onda de tierra. La señal de la onda de tierra se divide en la onda de espacio y la onda de superficie. La onda de espacio está formada de la onda directa, o sea, la señal que viaja en una trayectoria directa desde la antena transmisora a la receptora y la onda reflejada por la tierra, la cual es la señal que llega al receptor después que se refleja en la superficie de la tierra.

La onda de espacio también incluye la porción de -- energía que se recibe como resultado de la difracción alrededor de la superficie de la tierra y de la refracción en las capas superiores de la atmósfera.

La onda de superficie es una onda que es guiada a lo largo de la superficie de la tierra, tal como una onda electromagnética se guía a través de una línea de transmisión. Parte de la energía de la onda de superficie se absorbe debido a las pérdidas de la tierra, así que la atenuación de esta onda está directa

mente afectada por las constantes de la tierra a lo largo de la cual viaja.

Para antenas transmisoras y receptoras elevadas en línea de vista, la onda directa y reflejada se combinan para producir la señal resultante. Para una tierra plana y pulida con -- conductividad finita, la magnitud y fase de la onda reflejada puede calcularse haciendo una extensión del análisis para reflexión en la superficie de un dieléctrico perfecto. Cuando la tierra es irregular la onda reflejada tiende a dispersarse y su efecto en el punto de recepción es menor que cuando se refleja sobre una tierra regular.

La tierra aunque no es un buen conductor, comparado con el cobre o la plata que son buenos conductores, tampoco es un dieléctrico perfecto y su conductividad finita debe tomarse en -- cuenta.

La pérdida por trayectoria disminuye cuando se incrementa la altura de la antena hasta alcanzar las condiciones de línea de vista, en donde se obtiene el valor esperado con el espacio libre. Con un terreno altamente reflector, se presentan oscilaciones de pérdida de trayectoria arriba y abajo de la pérdida esperada en el espacio libre.

Si no se toman en cuenta las reflexiones de la tie-

rra y las zonas de Fresnel, se puede emplear una expresión aproximada para las pérdidas de trayectoria sobre un terreno plano, considerando antenas isotrópicas y que existe línea de vista entre ellas.

$$\frac{P_t}{P_r} = \left( \frac{d^2}{h_1 h_2} \right)^2 \quad \dots \text{ (II.9).}$$

Donde:

$\frac{P_t}{P_r}$  pérdida de trayectoria.

d.- distancia entre las antenas transmisora y receptora.

$h_1$  y  $h_2$  son las alturas de las antenas transmisor y receptora, respectivamente.

La figura II.4.2., representa gráficamente la ecuación anterior.

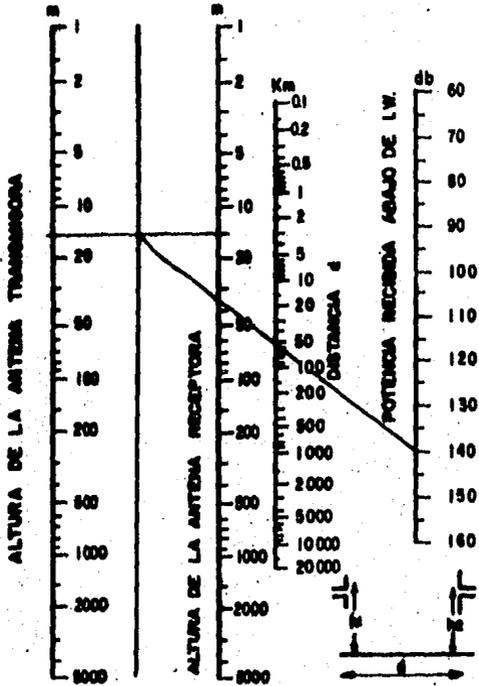


Fig. II.4.2.- Pérdida de Propagación entre Antenas Isotrópicas Sobre una Tierra Plana y en Función de las Alturas de las Antenas, Distancia y Frecuencia.

### III.- MODULACION DIGITAL.

#### III.1.- MODULACION.

##### III.1.1.- MODULACION.

La modulación es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal moduladora), y és te puede ser también una codificación.

Uno de los problemas básicos de la ingeniería en comunicaciones es el diseño y análisis de sistemas que permitan -- transmitir varios mensajes simultáneamente a través de un canal -- de comunicación único. Un método por el cual tal transmisión múltiple (llamado multicanalización), puede conseguirse, consiste en trasladar cada mensaje a una posición diferente en el espectro de frecuencias. Tal agrupación es llamada multicanalización en frecuencia. El mensaje individual puede ser separado finalmente mediante filtrado. La multicanalización en frecuencia involucra el uso de una forma de onda auxiliar, usualmente senoidal, llamada -- onda portadora.

Las operaciones ejecutadas en la señal para conse-- guir la multicanalización en frecuencia resulta en la generación\_

de una forma de onda, la cual puede ser descrita como la portadora modificada en que su amplitud, frecuencia o fase, individualmente o en combinación, varían con el tiempo. La portadora modificada es llamada portadora modulada. En algunos casos la modulación está relacionada simplemente al mensaje; en otros casos la relación es muy complicada.

### III.1.2.- TIPOS DE MODULACION.

El éxito de un sistema de comunicación en una misión determinada, depende en gran parte de la modulación, tan es así -- que el tipo de modulación es una decisión alrededor de la cual gravita el diseño del sistema y por esta razón muchas técnicas de modulación han evolucionado y cubierto diversas tareas y requisitos de muchos sistemas; y conforme aparezcan nuevas exigencias, se desarrollarán nuevas técnicas.

A pesar de la multitud de variedades, es posible -- identificar dos tipos básicos de modulación en relación a la clase de onda portadora: la modulación de onda continua (CW), en la cual la portadora es simplemente una forma de onda senoidal y la modulación por pulsos, en la cual la portadora es un tren periódico de pulsos.

Puesto que la modulación de onda continua es un proceso continuo, es posible adaptarla a señales que están variando constantemente con el tiempo. Por lo general, la portadora senoidal es de mayor frecuencia que cualquiera de las componentes de frecuencia contenidas en la señal moduladora. El proceso de modulación se caracteriza por una traslación de frecuencia, es decir, el espectro del mensaje (su contenido de frecuencia) se corre hacia arriba a otra banda de mayor frecuencia.

La modulación por pulsos es un proceso discontinuo o discreto, en el sentido de que los pulsos aparecen sólo en ciertos intervalos de tiempo. Por eso la modulación por pulsos se adapta mejor a los mensajes que son discretos por naturaleza. Con la ayuda del muestreo, las señales que varían continuamente pueden ser transmitidas sobre portadoras pulsantes. A menudo, tanto en los telégrafos como en los teletipos, la modulación por pulsos y la codificación son ampliamente empleados.

Como alternativa a la clasificación anterior, algunas veces es preferible designar a la modulación como analógica o digital. Esto es particularmente cierto en los sistemas más complejos que emplean ambas técnicas (modulación de CW y pulsada), haciendo distinción de su tipo indefinido de portadora. La diferencia entre analógica y digital es la siguiente: en la modula--

ción analógica el parámetro modulado varía en razón directa a la señal moduladora. En la modulación codificada ocurre una transformación digital, por medio de la cual el mensaje se cambia de un lenguaje simbólico a otro. Si el mensaje es originalmente una función continua del tiempo, debe ser muestreado y digitalizado (cuantificado) antes de ser codificado.

Pero haciendo caso omiso del tipo -CW o pulsada, analógica o codificada- la modulación debe ser un proceso reversible, de tal manera que el mensaje pueda ser recuperado en el receptor por medio de la operación complementaria de demodulación.

### III.1.3.- NECESIDAD DE LA MODULACION.

La modulación es necesaria para proteger a la señal de información, contra distorsiones producidas por el medio de transmisión y para disminuir las dimensiones de las antenas empleadas como radiadores.

+ Modulación por facilidad de radiación. Una radiación eficiente de energía electromagnética, requiere de elementos radiadores (antenas) cuyas dimensiones físicas sean por lo menos de  $1/10$  de la longitud de onda de la frecuencia de operación, pero muchas señales, especialmente las de audio, tienen componentes

de frecuencia del orden de los 10 KHz o menores, para lo cual se necesitan antenas de unos 3 kms. de longitud si se radiaran directamente (sin modulación). Utilizando la propiedad de traslación de frecuencia de la modulación, estas señales se pueden imprimir sobre una portadora de alta frecuencia, con lo que se logra una reducción sustancial del tamaño de la antena. Por ejemplo, en la banda de radio de FM, donde las portadoras están en el intervalo de 88 a 108 MHz, las antenas no deben ser mayores de un metro.

+ Modulación para reducir el Ruido y la Interferencia. Hemos dicho que es imposible eliminar totalmente el ruido del sistema. Y aunque es posible eliminar la interferencia, puede no ser práctico. Por fortuna, ciertos tipos de modulación tienen la útil propiedad de suprimir tanto el ruido como la interferencia. La supresión, sin embargo, ocurre a un cierto precio; generalmente requiere de un ancho de banda de transmisión (intervalo de frecuencia) mucho mayor que el de la señal original; de ahí la designación de reducción del ruido de banda ancha. Este convenio de ancho de banda para la reducción del ruido es uno de los interesantes y a veces desventajosos aspectos del diseño de un sistema de comunicación.

+ Modulación para Asignación de Frecuencia. El propietario de un aparato de radio o televisión puede seleccionar --

una de varias estaciones, aun cuando todas las estaciones estén -  
transmitiendo material de programa similar en el mismo medio de -  
transmisión. Es posible seleccionar y separar cualquiera de las -  
estaciones, dado que cada una tiene asignada una frecuencia porta -  
dora diferente. Si no fuera por la modulación, sólo operaría --  
una estación en un área dada. Dos o más estaciones que transmi -  
tan directamente en el mismo medio, sin modulación, producirán -  
una mezcla inútil de señales interferentes.

+ Modulación para Multicanalización.- A menudo se -  
desea transmitir muchas señales en forma simultánea entre dos pun -  
tos. Las técnicas de multicanalización son formas, intrínsecas -  
de modulación, permiten la transmisión de señales múltiplex sobre  
un canal, de tal manera que cada señal puede ser captada en el ex -  
tremo receptor. Las aplicaciones de la multicanalización compren -  
den telemetría de datos, emisión de FM estereofónica y telefonía -  
de larga distancia. Es muy común, por ejemplo, tener hasta 1800  
conversaciones telefónicas de ciudad a ciudad, multicanalizadas y  
transmitidas sobre un cable coaxial de un diámetro menor de un --  
centímetro.

+ Modulación para Superar las Limitaciones del Equi -  
po. El diseño de un sistema queda generalmente a la disponibili -  
dad de equipo, el cual a menudo presenta inconvenientes en rela--

ción con las frecuencias involucradas. La modulación se puede -  
usar para situar una señal en la parte del espectro de frecuencia  
donde las limitaciones del equipo sean mínimas o donde se encuen-  
tren más fácilmente los requisitos de diseño. Para este propósi-  
to los dispositivos de modulación se encuentran también en los rece  
ptores, como ocurre con los transmisores.

### III.2.- MODULACION POR PULSOS.

#### III.2.1.- TEOREMA DE MUESTREO.

Consideremos al inicio, el principio fundamental de multiplexaje por división de tiempo (TDM). Este principio se llama teorema de muestreo. Sea  $m(t)$  una señal que está limitada en banda de tal forma que su componente espectral de frecuencia más alta es  $f_M$ . Dejemos que los valores de  $m(t)$  sean determinados a intervalos regulares separados por tiempos  $T_S \ll 1/2f_M$ , esto es, la señal es muestreada periódicamente cada  $T_S$  segundos. Entonces estas muestras  $m(nT_S)$ , donde  $n$  es un entero, determinan únicamente la señal, y la señal puede ser reconstruida a partir de estas muestras y sin distorsión.

El tiempo  $T_S$  se llama tiempo de muestreo. Nótese que el teorema requiere que la rapidéz de muestreo sea suficientemente rápida para que por lo menos sean tomadas dos muestras durante el transcurso del período correspondiente a la componente espectral de frecuencia más alta.

La señal de banda base  $m(t)$  que va a ser muestreada se ilustra en la figura III.2.1.a. Un tren periódico de pulsos  $S(t)$  de amplitud unitaria y de período  $T_S$  se muestra en la figura

III.2.1.b. Los pulsos son arbitrariamente estrechos teniendo un ancho  $dt$ . Las dos señales  $m(t)$  y  $S(t)$  son aplicadas a un multiplicador como se ilustra en la figura III.2.1.c., lo cual produce como salida el producto  $S(t) m(t)$ . Este producto es como se ve en la figura III.2.1.d., la señal  $m(t)$  muestreada a la ocurrencia de cada pulso. Esto es, cuando ocurre un pulso, la salida del multiplicador tiene el mismo valor que  $m(t)$ , y para todos los otros tiempos la salida del multiplicador es cero.

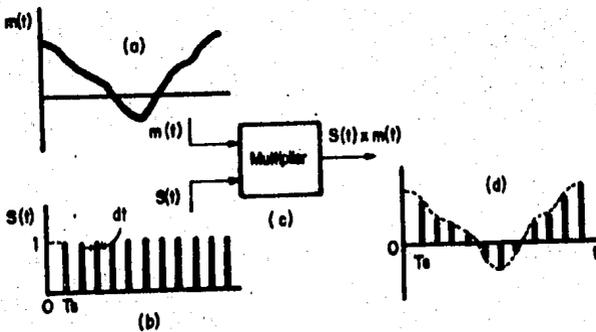


Fig. III.2.1.- a).- Señal  $m(t)$  la cual va a Ser Muestreada.  
b).- La Función de Muestreo  $s(t)$  Consiste de un Tren de Pulsos Angostos de Amplitud Unitaria.  
c).- La Operación de Muestreo es Ejecutada en un Multiplicador.  
d).- Muestras de la Señal  $m(t)$ .

La señal  $S(t)$  es periódica, con período  $T_S$  y tiene la expansión de Fourier:

$$S(t) = \frac{dt}{T_S} + \frac{2dt}{T_S} \left( \cos \frac{2\pi t}{T_S} + \cos 2 \times 2 \frac{\pi t}{T_S} + \dots \right) \dots \text{III.1.}$$

Para el caso en que  $T_S = \frac{1}{2f_M}$ ,

El producto  $S(t)m(t)$  es:

$$S(t)m(t) = \frac{dt}{T_S} m(t) + \frac{dt}{T_S} \left[ 2m(t) \cos 2\pi(2f_M) t + 2m(t) \cos 2\pi(4f_M) t + \dots \right] \dots \text{III.2}$$

Observemos ahora que el primer término en la serie es además de un factor constante, la señal  $m(t)$  misma. De nuevo, aparte de un factor multiplicativo, el segundo término es el producto de  $m(t)$  y una senoide de frecuencia  $2f_M$ . Entonces este producto produce una señal de portadora suprimida de doble banda lateral con frecuencia de la portadora  $2f_M$ . Similarmente los términos sucesivos producen señales de doble banda lateral con portadora suprimida con frecuencias de portadora  $4f_M$ ,  $6f_M$ , etc. Dejemos que la señal  $m(t)$  tenga una densidad espectral  $M(j\omega) = F m(t)$  como se muestra en la figura III.2.2.a. Entonces  $m(t)$  está limitada en banda al rango de frecuencias menos que  $f_M$ . El espectro del primer término de la ecuación II.2., se extiende desde cero hasta  $f_M$ . El espectro del segundo término es simétrico con res--

pecto a la frecuencia  $2f_M$  y se extiende desde  $2f_M - f_M = f_M$  hasta  $2f_M + f_M = 3f_M$ .

El espectro de la señal muestreada se representa en la figura III.2.2.b. Supongamos entonces que la señal muestreada se pasa a través de un filtro pasabajos ideal con frecuencia de corte en  $f_M$ . Si la transmisión del filtro fuere constante en la banda de paso y si el corte fuese infinitamente brusco en  $f_M$ , el filtro nada más pasaría la señal  $m(t)$ .

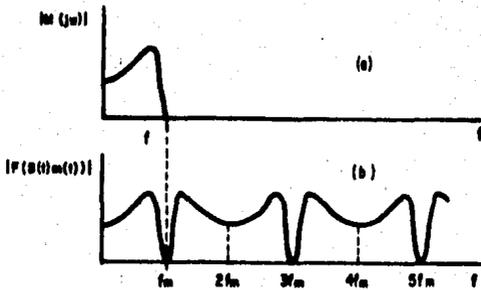


Fig. III.2.2.- a).- Gráfica en Magnitud de la Densidad Espectral de una Señal Limitada en Banda hasta  $f_M$ .  
b).- Gráfica de la Amplitud del Espectro de la Señal Muestreada.

El patrón espectral correspondiente a la figura III.2.2.b., se muestra en la figura III.2.3.a., para el caso en el cual la rapidéz de muestreo  $f_s = 1/T_s$  es mayor que  $2f_M$ . En este caso hay una brecha entre el límite superior  $f_M$  del espectro de la señal de banda base y el límite inferior del espectro de doble banda lateral y portadora suprimida centrada alrededor de la frecuencia de portadora  $f_s > 2f_M$ . Por esta razón el filtro pasabajas utilizado para seleccionar la señal  $m(t)$  no necesita tener un corte infinitamente brusco. En cambio, la atenuación del filtro puede empezar en  $f_M$  pero no necesita alcanzar un valor alto sino hasta la frecuencia  $f_s - f_M$ , este rango desde  $f_M$  hasta  $f_s - f_M$  es conocido como banda de guarda y siempre es requerida en la práctica, ya que por supuesto no es realizable un filtro con corte infinitamente brusco. Típicamente, cuando es utilizado el muestreo en conexión con mensajes en voz de líneas telefónicas, la señal de voz está limitada hasta  $f_M = 3.3$  KHz. Mientras que  $f_s$  es seleccionada en 8 KHz. La banda de guarda es entonces  $8 - (2 \times 3.3) = 1.4$  KHz.

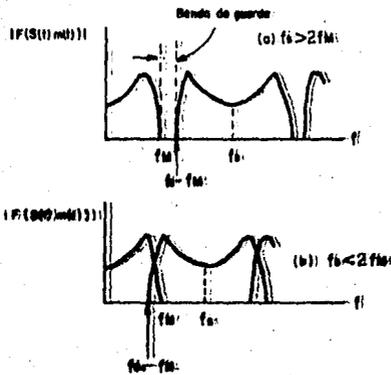


Fig. III.2.3.-- a).-- Una Banda de Guarda Aparece Cuando  $f_c > 2f_m$ .  
b).-- Traslape de los Espectros cuando  $f_c < 2f_m$ .

La situación ilustrada en la figura III.2.3.b., corresponde al caso donde  $f_c < 2f_m$ . Aquí encontramos un traslape entre el espectro de  $m(t)$  y el espectro de la señal de doble banda lateral y portadora suprimida centrada alrededor de  $f_c$ . Entonces, ninguna operación de filtrado permitirá una recuperación exacta de  $m(t)$ .

Hemos demostrado el teorema de muestreo, ya que se

ha mostrado que en principio la señal muestreada puede ser recuperada exactamente cuando  $T_B \leq 1/2f_M$ . También se ha demostrado que la rapidéz de muestreo mínima permitida es  $2f_M$ . Esta rapidéz de muestreo mínima es conocida como la rapidéz de Nyquist.

Un incremento en la rapidéz de muestreo por arriba de la rapidéz de Nyquist aumenta el ancho de banda de guarda, facilitando el problema de filtrado. Por otro lado, veremos que un aumento en la rapidéz extiende el ancho de banda requerido para la transmisión de señal muestreada.

Un caso especial de interés es el muestreo de una señal senoidal de frecuencia  $f_M$ . Aquí, toda la potencia de la señal está concentrada precisamente en la frecuencia de corte del filtro pasabajos y, consecuentemente existe ambigüedad con respecto a si la frecuencia está adentro o afuera de la banda de paso del filtro. Para remover esta ambigüedad, requerimos que  $f_B > 2f_M$  en vez de  $f_B \geq 2f_M$ . Para ver que esta condición sea necesaria, supongamos que  $f_B = 2f_M$  pero que una muestra inicial es tomada al momento en que la senoide pasa por cero. Entonces todas las muestras sucesivas también serán cero. Esta situación se evita con el requerimiento de que  $f_B > 2f_M$ .

### III.2.2.- MUESTREO NATURAL.

Es conveniente para el propósito de introducir algunas ideas básicas, empezar nuestra discusión suponiendo conmutación y deconmutación instantáneos. Tal muestreo instantáneo, sin embargo, difícilmente es factible. Aún si fuera posible construir interruptores que puedan operar en un tiempo arbitrariamente corto, preferiríamos no usarlos. La razón es que las muestras instantáneas en el extremo transmisor del canal tienen energía infinitesimal, y cuando son transmitidas a través de un canal de banda limitada dan lugar a señales que tienen un valor pico que es infinitesimalmente pequeño. Tales señales infinitesimalmente pequeñas se perderán inevitablemente en el ruido de fondo.

Una forma razonable de muestreo conocida como muestreo natural es mostrada en la figura III.2.4. Aquí la onda de muestreo  $S(t)$  consiste en un tren de pulsos teniendo una duración  $\tau$  y separados por el tiempo de muestreo  $T_s$ . La señal de banda base es  $m(t)$  y la señal muestreada  $S(t) m(t)$  es mostrada en la figura III.2.4.c. Obsérvese que la señal muestreada consiste en una secuencia de pulsos de amplitud variable cuyas partes superiores no son planas pero siguen la forma de onda de la señal  $m(t)$ .

Con el muestreo natural, como en el muestreo instan

táneo, una señal muestreada a la rapidéz de Nyquist puede ser re-  
construída exactamente pasando las muestras a través de un filtro  
pasabajas ideal, con corte a la frecuencia  $f_M$ , donde  $f_M$  es la com-  
ponente espectral de frecuencia más alta de la señal. Para pro-  
bar ésto, notamos que la onda de muestreo  $S(t)$  mostrada en la fi-  
gura III.2.4., está dada por la ecuación III.3.

$$S(t) = \frac{\tau}{T_S} + \frac{2\tau}{T_S} \left( C_1 \cos 2\pi \frac{t}{T_S} + C_2 \cos 2 \times 2 \pi \frac{t}{T_S} + \dots \right) \quad \dots \text{III.3}$$

Con la constante  $C_n$  dada por:

$$C_n = \frac{\text{sen}(n \pi \tau / T_S)}{n \pi \tau / T_S} \quad \dots \text{III.4}$$

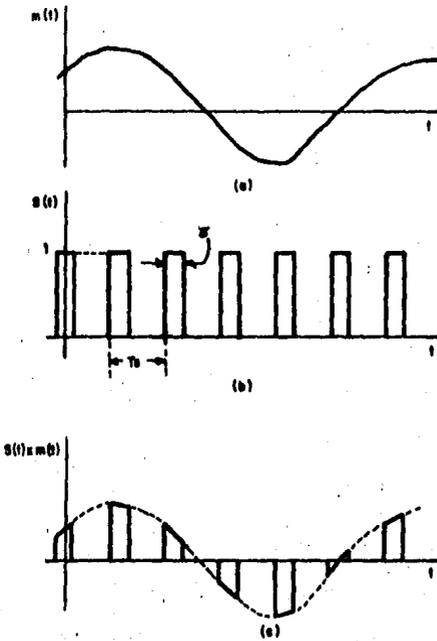


Fig. III.2.4.- a).- Una Señal de Banda Base  $m(t)$ .  
b).- Una Señal de Muestreo  $S(t)$  con Pulsos de Duración Finita.  
c).- Señal Muestreada  $S(t)m(t)$  Mediante la Técnica del Muestreo Natural.

Esta onda de muestreo difiere de la onda de muestreo de la ecuación III.1, para muestreo instantáneo únicamente en que  $dt$  se reemplaza por  $\tau$  y por el hecho de que las amplitudes de las varias armónicas no son constantes.

La señal de banda base muestreada  $S(t) m(t)$  es para:

$$T_s = \frac{1}{2f_M}$$

$$S(t)m(t) = \frac{\tau}{T_s} m(t) + \frac{2\tau}{T_s} \left[ m(t)C_1 \cos 2\pi(2f_M)t + m(t)C_2 \cos 2\pi(4f_M)t + \dots \right] \dots \text{III.5.}$$

Por ésto, como en el muestreo instantáneo, un filtro pasabajos con corte en  $f_M$  entregará una señal de salida  $S_o(t)$  dada por la ecuación III.6., que es la misma como está dada por el primer término de la ecuación III.2., excepto con  $dt$  reemplazado por  $\tau$ .

$$S_o(t) = \frac{\tau}{T_s} m(t) \dots \text{III.6.}$$

Con muestras de duración finita no es posible eliminar completamente la diafonía generada en un canal, limitado en banda hasta un ancho de banda  $f_c$ . Si  $N$  señales van a ser multiplexadas, entonces la duración máxima de la muestra es  $\tau = T_s/N$ .

Es ventajoso, para el propósito de aumentar el nivel de la señal de salida hacer  $\tau$  tan grande como sea posible.

Porque como se ve en la ecuación III.6.,  $S_o(t)$  se incrementa con  $\tau$ . Sin embargo, para ayudar a eliminar la diafonía ordinariamente se requiere que las muestras estén limitadas a una duración mucho menor que  $T_g/N$ . El resultado es un tiempo de guarda grande entre el final de una muestra y el inicio de la otra.

### III.2.3.- MUESTREO PLANO.

Los pulsos del tipo mostrado en la figura III.2.4.c. con extremo superior configurados para seguir la forma de onda de la señal no son empleados frecuentemente. En cambio son utilizados los pulsos de extremo superior plano como se muestra en la figura III.2.5.a. Un pulso de extremo superior plano tiene una amplitud constante determinada por el valor de la muestra de la señal en algún punto dentro del intervalo del pulso. En la figura III.2.5.a., hemos muestreado la señal al inicio del pulso. En el muestreo de este tipo la señal de banda base  $m(t)$  no puede ser recuperada exactamente pasando las muestras simplemente a través de un filtro pasabajas ideal. Sin embargo, la distorsión no es grande. El muestreo de extremo superior plano tiene el mérito de que simplifica el diseño de la circuitería electrónica empleada para efectuar la operación de muestreo.

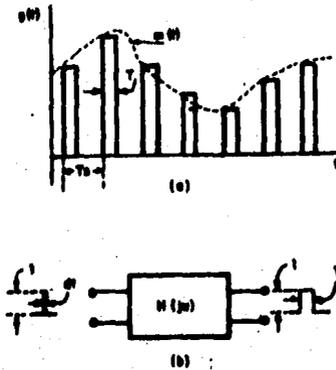


Fig. III.2.5.- a).- Muestreo de una Señal mediante la Técnica del Muestreo de Extremo Superior Plano.  
b).- Red con Transformada  $H(j\omega)$  la cual convierte un Pulso de ancho  $dt$  en un Pulso rectangular de igual amplitud pero de duración  $\tau$ .

Para mostrar la magnitud de la distorsión, consideremos la señal  $m(t)$  con transformada de Fourier  $M(j\omega)$ . Hemos visto (ver figuras III.2.2. y III.2.3.) como deducir la transformada

de la señal muestreada cuando el muestreo es instantáneo. La transformada de la señal muestreada para muestreo de extremo superior plano es determinada considerando que el pulso de extremo superior plano puede ser generado pasando la señal muestreada instantáneamente por una red que ensancha un pulso de duración  $dt$  (un impulso) en un pulso de duración  $\tau$ .

La transformada de un pulso de amplitud unitaria y anchura  $dt$  es:

$$\mathcal{F} \left[ \text{impulso de ancho } dt \text{ en } t = 0 \right] = dt \quad \dots \text{ III.7}$$

La transformada de un pulso de amplitud unitaria y ancho  $\tau$  es:

$$\begin{aligned} \mathcal{F} \left[ \text{pulso de amplitud} = 1, \text{ y extendiéndose de } t = -\frac{\tau}{2} \text{ a } t = \frac{\tau}{2} \right] \\ = \tau \frac{\text{sen}(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \end{aligned} \quad \dots \text{ III.8}$$

De aquí que se requiere que la función de transferencia de la red mostrada en la figura III.5.6., sea:

$$H(j\omega) = \frac{\tau}{dt} \frac{\text{Sen}(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \quad \dots \text{ III.9}$$

Sea la señal  $m(t)$ , con transformada  $M(j\omega)$ , limitada en banda hasta  $f_M$  y que sea muestreada a la rapidéz de Nyquist o más rápido. Entonces en el rango de 0 a  $f_M$  la transformada de la señal muestreada está dada por el producto  $H(j\omega) \cdot M(j\omega)$  o, de las ecuaciones III.7, III.8 y III.9.

$$\mathcal{F} \left[ m(t) \text{ muestreada con extremo superior plano} \right] = \frac{T}{T_B} \frac{\text{sen}(\omega T/2) M(j\omega)}{\omega T/2} \quad \dots \text{ III.10}$$

$$0 \leq f \leq f_M$$

Para ilustrar el efecto del muestreo de extremo superior plano, consideramos por simplicidad que la señal  $m(t)$  tiene una densidad espectral plana igual a  $M_0$  sobre todo su rango desde cero hasta  $f_M$  como se muestra en la figura III.2.6.a. La forma de la transformada de la señal muestreada instantáneamente, se muestra en la figura III.2.6.b.

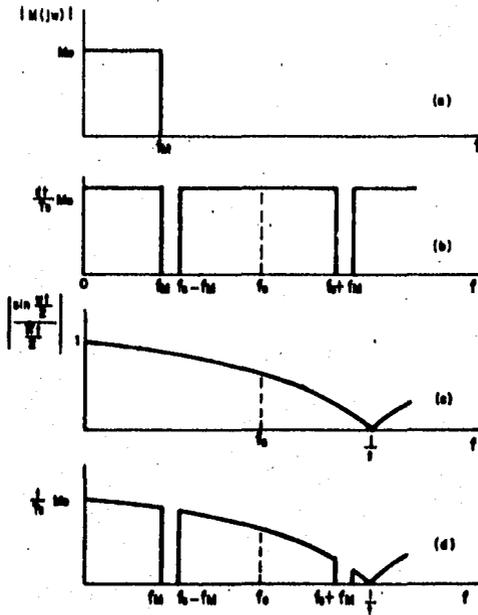


Fig. III.2.6.- a).- Espectro Ideal de la Señal de Banda Base.  
b).- Espectro de la Señal con Muestreo Instantáneo.  
c).- Forma del Factor de Distorsión (efecto de apertura) Introducido por el Muestreo de Extremo Superior Plano.  
d).- Espectro de la Señal empleando la Técnica de Muestreo de Extremo Superior Plano.

La frecuencia de muestreo  $f_s = 1/T_s$  se supone que es suficientemente grande para permitir una banda de guarda entre el espectro de la señal de banda base y la señal DBL-PS con portadora  $f_s$ . El espectro de la señal muestreada de extremo superior plano se muestra en la figura III.2.6.b. Por supuesto estamos interesados únicamente en la parte del espectro en el rango de cero a  $f_M$ . Si, en este rango los espectros de la señal muestreada y la señal original son idénticos entonces la señal original puede recobrase mediante un filtro pasabajas como ya se ha discutido. Observamos, sin embargo, que no es tal caso y que como un resultado, aparecerá distorsión. Esta distorsión resulta del hecho de que la señal original fué "observada" durante un tiempo finito en vez de una "apertura" de tiempo infinitesimal y de aquí que sea conocida como distorsión por efecto de apertura.

La distorsión resulta del hecho de que el espectro es multiplicado por la función de muestreo  $Sa(x) \equiv \left(\frac{\text{Sen } x}{x}\right)$  (Con  $x = \frac{\omega T}{2}$ ). La magnitud de la función de muestreo decrece lentamente al aumentar  $x$  en la vecindad de  $x = 0$  y no decrece abruptamente hasta que nos aproximamos a  $x = \pi$  en donde  $Sa(x) = 0$ ; para minimizar la distorsión de banda al efecto de apertura es ventajoso arreglar que  $x = \pi$  corresponda a una frecuencia muy grande en comparación con  $f_M$ . Ya que  $x = \pi f T$ , la frecuencia  $f_0$  correspondiente a  $x = \pi$  es  $f_0 = \frac{1}{T}$ . Si  $f_0 \gg f_M$ , ó, correspondientemente, si -

$\tau \ll \frac{1}{f_M}$ , la distorsión de apertura será pequeña. La distorsión se hace progresivamente más pequeña al decrecer  $\tau$ . Y, por supuesto, mientras que  $\tau \rightarrow 0$  (muestreo instantáneo), la distorsión se aproxima a cero.

#### III.2.4.- MODULACION POR AMPLITUD DE PULSOS.

Una forma mediante la cual podemos obtener provecho del principio de muestreo para el propósito de multiplexaje por división de tiempo (TDM) es la ilustrada en la representación idealizada de la figura III.2.7. En el extremo transmisor de la izquierda, un número de señales limitadas en banda están conectadas a los puntos de contacto de un interruptor rotatorio. Suponemos que las señales están limitadas en banda similarmente. Por ejemplo, todas pueden ser señales de voz, limitadas hasta 3.3 HKz. Cuando el brazo rotatorio del interruptor gira, muestrea cada señal secuencialmente. El interruptor rotatorio en el extremo receptor está en --sincronía con el interruptor en el extremo transmisor. Los dos interruptores hacen contacto simultáneamente con contactos numerados similarmente. Con cada revolución del interruptor es tomada una muestra de cada señal de entrada y presentada al contacto correspondientemente numerado del interruptor del extremo receptor. El tren de muestras en, digamos, la terminal número 1 en el receptor,

pasa a través del filtro pasa-bajas 1, y, en el filtro de salida, la señal original  $m_1(t)$  aparece reconstruida. Por supuesto, si  $f_M$  es la componente espectral en frecuencia más alta presente en cualquiera de las señales de entrada, los interruptores deben hacer -- por lo menos  $2f_M$  revoluciones por segundo.

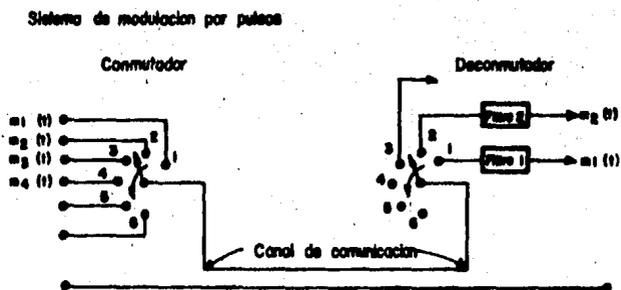


Fig. III.2.7.- Ilustración de Como el Principio de Muestreo puede Emplearse para Transmitir un Número de Señales Limitadas en Banda Sobre un Canal de Comunicación - Unico.

Cuando las señales al ser multiplexadas varían lentamente con el tiempo, así que la tasa de muestreo es correspondientemente lenta, los interruptores indicados en la figura III.2.7., pueden ser empleados. Cuando la velocidad de muestreo requerida está fuera del rango de los interruptores mecánicos, sistemas de interruptores electrónicos deben ser empleados. En cualquier caso, el mecanismo de muestreo correspondiente a los interruptores a la izquierda en la figura III.2.7., los cuales muestrean las señales, es llamado el conmutador. El mecanismo de muestreo que ejecuta la función de los interruptores a la derecha de la figura III.2.7., es llamado desconmutador. El conmutador muestrea y combina las muestras, mientras que el desconmutador separa las muestras pertenecientes a señales individuales así que estas señales pueden ser reconstruidas.

El entrelazado de las muestras que permite el multiplexaje es mostrado en la figura III.2.8. Aquí, por simplicidad, hemos considerado el caso de multiplexaje de solo dos señales  $m_1(t)$  y  $m_2(t)$ . La señal  $m_1(t)$  es muestreada regularmente a intervalos de  $T_s$  y a los tiempos indicados en la figura. El muestreo de  $m_2(t)$  es similarmente regular, pero las muestras son tomadas a un tiempo diferente del tiempo de muestreo de  $m_1(t)$ . La forma de onda de entrada al filtro número 1 en la figura III.2.7., es el --

tren de muestras de  $m_1(t)$ , y la entrada al filtro número 2 es el tren de muestras de  $m_2(t)$ . Los tiempos en la figura III.2.8., han sido dibujados deliberadamente para sugerir que hay espacio para multiplexar más de dos señales.

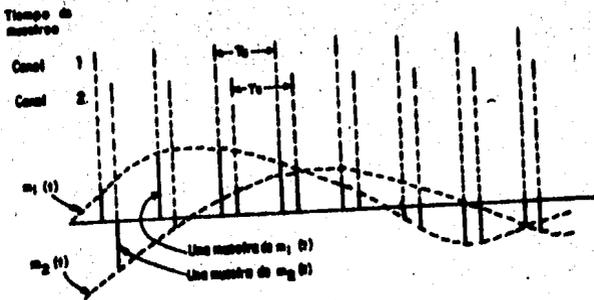


Fig. III.2.8.- Entrelazado de Dos Señales de Banda Base.

Observemos que el tren de pulsos correspondiente a las muestras de cada señal están modulados en amplitud de acuerdo con la señal misma. De acuerdo con esto, el esquema de muestreo es llamado modulación por amplitud de pulsos y abreviado PAM.

El multiplexaje de varias señales PAM es posible -- porque dichas señales son mantenidas independientes entre si y -- son recuperables por separado en virtud del hecho de que son muestreadas a tiempos diferentes. De aquí que este sistema es un -- ejemplo de un sistema de multiplexaje por división de tiempo -- (TDM). Tales sistemas son la contraparte en el dominio del tiempo de los sistemas AM. En los sistemas AM las señales fueron mantenidas separables en virtud de translación a diferentes posiciones del dominio de la frecuencia y esos sistemas son llamados sistemas por multiplexaje en división de frecuencia (FDM).

### III.2.5.- MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS (PCM).

Con mucha frecuencia en la moderna tecnología de -- las comunicaciones las señales analógicas muestreadas se digitalizan antes de ser transmitidas, las señales digitales resultantes pueden entonces ser codificadas en cualquier forma equivalente deseada. Los sistemas que implican la transmisión de señales digi-

talizadas y codificadas se denominan comunmente sistemas de modulación por codificación de pulsos (PCM). Los sistemas digitales binarios constituyen la clase más común de sistemas PCM que se encuentran.

Hay muchas ventajas en la utilización de los sistemas de este tipo:

1.- Las señales pueden regenerarse o arreglarse periódicamente durante la transmisión, puesto que la información ya no se encuentra contenida en la amplitud continuamente variable de los pulsos, sino que consiste en símbolos discretos.

2.- Toda clase de circuitos digitales puede emplearse durante la totalidad del procesamiento.

3.- Las señales pueden ser procesadas digitalmente según convenga.

4.- El ruido y la interferencia pueden ser apropiadamente minimizados mediante códigos.

Una señal que es cuantizada para transmitirse es usualmente muestreada. La cuantización es usada para reducir los

efectos del ruido y el muestreo nos permite multiplexar en división de tiempo un número de mensajes si queremos hacerlo. Las operaciones combinadas de muestreo y cuantización generan una forma de onda PAM cuantizada, ésto es, un tren de pulsos cuyas amplitudes están restringidas a un número de magnitudes discretas.

Podemos, si queremos, transmitir estos valores de muestras cuantizadas directamente. Alternativamente podemos representar cada nivel cuantizado por un número codificado y transmitir el número codificado en vez del valor de las muestras. El mérito de hacerlo será desarrollado en la subsiguiente discusión. Muy frecuentemente el número codificado es convertido, antes de la transmisión, en su representación en aritmética binaria; por ejemplo, aritmética de base 2. Los dígitos de la representación binaria del número codificado son transmitidos como pulsos. De aquí que el sistema de transmisión es llamado modulación por pulsos codificados (PCM binario).

Las características principales del PCM binario son mostradas en la figura III.2.9. Asumimos que la señal del mensaje analógico  $m(t)$  está limitado en sus excursiones en un rango de  $-4$  a  $+4$  volts. Hemos puesto el tamaño del paso entre niveles de cuantización en 1 volt. Son empleados 8 niveles de cuantización y están colocados a  $-3.5, -2.5, \dots, +3.5$  volts. Asignamos el número

codificado 0 al nivel -3.5 volts, el número codificado 1 al nivel -2.5 volts, etc., hasta el nivel +3.5 volts, al cual está asignado el número codificado 7. Cada número codificado tiene su representación en aritmética binaria variando desde 000 para el número codificado 0 hasta 111 para el número codificado 7.

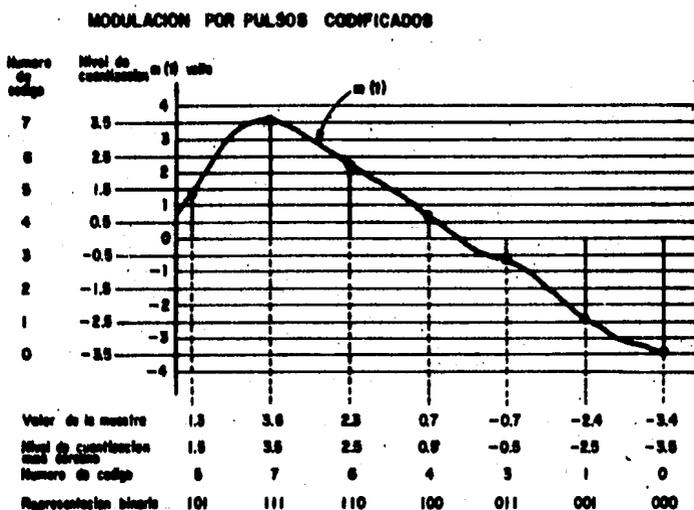


Fig. III.2.9.- Ejemplo de cómo una Señal de Información es Muestrada, Cuantizada y Codificada. A cada Muestra le Corresponde un Valor Cuantizado y una Representación en Código Binario, (codificación).

En la figura III.2.9., en correspondencia con cada muestra, especificamos el valor de la muestra, el nivel de cuantización más cercano, el número codificado y su representación binaria. Si transmitiéramos la señal analógica, transmitiríamos los valores de las muestras 1.3, 3.6, 2.3, etc. Si transmitiéramos la señal cuantizada transmitiríamos los valores de las muestras cuantizadas 1.5, 3.5, 2.5, etc. En PCM binario transmitimos las representaciones binarias 101, 111, 110, etc.

### III.2.6.- REPRESENTACIONES ELECTRICAS DE DIGITOS BINARIOS.

Como se indicó en la sección anterior, podemos representar los dígitos binarios mediante pulsos eléctricos para transmitir la representación codificada de cada nivel cuantizado en un canal de comunicación. Tal representación es mostrada en la figura III.2.10. Las ranuras del tiempo del pulso están indicadas en la parte superior de la figura y, como se muestra en la figura III.2.10.a., el dígito binario 0 está representado por la ausencia del pulso. La línea de números binarios de tres dígitos dada en la figura III.2.10., es la representación binaria de la secuencia de muestras cuantizadas en la figura III.2.9. Aquí el patrón de pulsos en la figura III.2.10.a., es la forma de onda de PCM bina--

rio que sería transmitida para llevar al receptor la secuencia de muestras cuantizadas de la señal del mensaje  $m(t)$  de la figura - - III.2.9. Cada número binario de tres dígitos que especifica el valor de una muestra cuantizada es llamada una palabra. Los espacios entre palabras permiten el multiplexaje de otros mensajes.

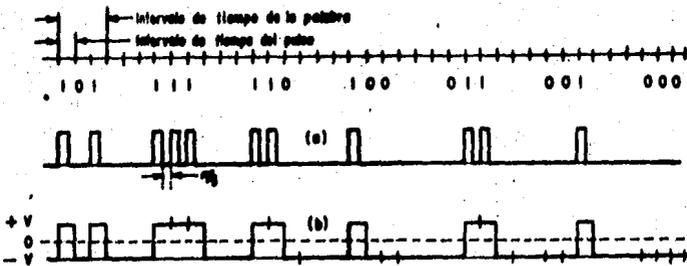


Fig. III.2.10. a).- Representación en Pulsos de los Números Binarios usados para Codificar las Muestras de la figura III.2.9.  
b).- Representación por Medio de Niveles de Voltaje en lugar de Pulsos.

En el receptor, para reconstruir la señal cuantizada, todo lo que se requiere es que se haga una determinación dentro de cada ranura del tiempo del pulso, si un pulso está presente o ausente. La amplitud exacta del pulso no es importante. Hay una ventaja en hacer el ancho del pulso tan ancho como sea posible ya que la energía del pulso por consiguiente es incrementada y resulta más fácil de reconocer un pulso contra el ruido de fondo.

Supongamos entonces que eliminamos el tiempo de guarda  $t_g$  entre pulsos. Tendríamos la forma de onda mostrada en la figura III.2.10.b. Sería difícil describir esta forma de onda como una secuencia de pulsos positivos o pulsos negativos. La forma de onda consiste ahora de una secuencia de transiciones entre dos niveles. Cuando la forma de onda ocupa el nivel más bajo en una ranura de tiempo en particular, un cero binario está representado mientras que el nivel superior de voltaje representa un uno binario.

Supongamos que la diferencia de voltaje de 2 volts entre los niveles de la forma de onda de la figura III.2.10.b., es adecuada para permitir una determinación confiable en el receptor ¿De cuál dígito está siendo transmitido?. Podemos entonces arreglar que la forma de onda haga excursiones entre 0 y 2 o entre -V y +V volts. La primera forma de onda tendrá una componente

de directa, la segunda forma de onda no la tendrá. Ya que la componente de directa desperdicia potencia y no contribuye para la -- confiabilidad de la transmisión, la segunda alternativa es preferida y está indicada en la figura III.2.10.b.

### III.3.- MODULACION DIGITAL.

Existen esencialmente tres maneras de modular una portadora senoidal simple: variando su amplitud, su frecuencia y su fase de acuerdo a la información que se va a transmitir. En el caso digital esto corresponde a la conmutación de uno de los tres parámetros entre dos valores posible. Más comunmente, la conmutación de amplitud oscila entre cero (el estado apagado) y algún nivel predeterminado de amplitud (el estado encendido). Tales sistemas se denominan entonces on-off-keyed (OOK) manipulados por encendido y apagado. Análogamente, en la manipulación por corrimiento de fase (PSK), es la fase de la portadora la que se conmuta en  $\pi$  - radianes o  $180^\circ$ . También puede considerarse que lo que varía en este caso es la polaridad de la portadora de acuerdo con la hilera binaria de información. En el caso de la manipulación por corrimiento de frecuencia (FSK), la portadora conmuta entre dos frecuencias predeterminadas, ya sea modulando un oscilador de señal senoidal o por conmutación entre dos osciladores dispuestos en fase. Aunque se usan en la práctica otros esquemas de señalización digital en forma similar, en esta sección se concentrará la atención en estos tres tipos básicos de modulación.

### III.3.1.- MODULACION POR DESVIACION DE AMPLITUD (ASK).

Supóngase una secuencia de pulsos binarios, como los que se muestran en la figura III.3.1.a. El 1 enciende la amplitud de la portadora A, y el 0 la apaga como se muestra en la figura III.3.1.b. Es evidente que el espectro de la señal 00K dependerá de la secuencia particular que se transmita. Sea una secuencia particular de unos y ceros  $f(t)$ ; entonces, la señal modulada en amplitud, o señal 00K, es simplemente:

$$f_c(t) = Af(t)\cos \omega_c t \quad \dots \text{III.11}$$

Donde  $f(t) = 1$  ó  $0$ , sobre intervalos de T segundos - de duración. Nótese, empero, que ésta es exactamente la forma de la señal modulada. Tomando la transformada de Fourier de la señal modulada en amplitud  $f_c(t)$  (00K), y usando el teorema del desplazamiento en frecuencia, se tiene:

$$F_c(\omega) = \frac{A}{2} \left[ F(\omega - \omega_c) + F(\omega + \omega_c) \right] \quad \dots \text{III.12}$$

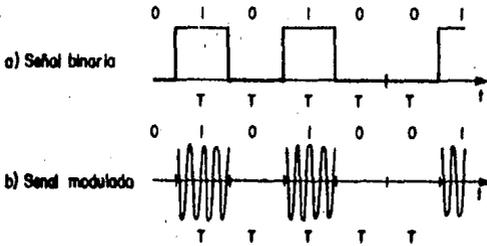


Fig. III.3.1.- Señal de Manipulación por Encendido y Apagado.

El efecto de la multiplicación de  $\cos \omega_c t$  es simplemente el corrimiento del espectro original de la señal (la señal de banda base) hasta la frecuencia  $\omega_c$ , ésto se observa en la figura III.3.2. Esta es la forma general de una señal de AM; contiene bandas laterales simétricamente distribuidas alrededor de la frecuencia central o de la portadora  $\omega_c$ . Nótese el importante hecho de que con un ancho de banda inicial de la banda base  $2\pi B$  rad/s (B Hertz), el ancho de banda de AM o de transmisión es el doble de aquél; es decir,  $\pm 2\pi B$  rads/s o  $\pm B$  Hertz alrededor de la portadora, dando un ancho de banda total de 2B Hertz.

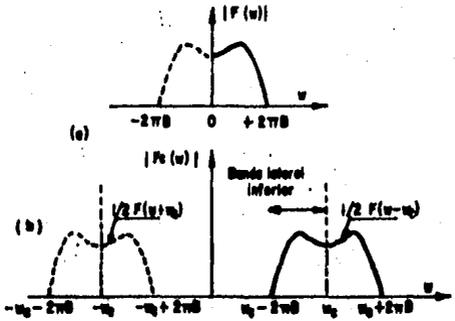


Fig. III.3.2.- Espectro de Amplitud de la Onda Modulada en Amplitud.  
a).- Espectro de la Señal Moduladora.  
b).- Espectro de la Onda Modulada en Amplitud.

Aunque las señales de la figura III.3.1., se muestran esquemáticamente como pulsos rectangulares para simplificar, éstas pueden tener igualmente cualquier forma que se desee. La función de tiempo de la banda base  $f(t)$  podría entonces incorporar el parámetro específico de conformación que se use. La ecuación III.12 y la figura III.3.2., indican entonces que la señal conformada modulada de la ecuación III.11, podría tener el espectro de la señal de banda base desplazado y centrado alrededor de la fre-

cuencia portadora. Por ejemplo, supóngase que la caída senoidal es la que se usa, ya sea conformando los pulsos de la banda base o haciéndolo con los pulsos modulados de alta frecuencia. El espectro de la señal modulada luce como el de la banda base, desplazado hasta la frecuencia de la portadora  $f_c$  hertz y con un ancho de banda de transmisión  $B_T=2B=(1/T)(1+r)$ , donde  $r$  es el factor de caída. Un ejemplo de ello aparece en la figura III.3.3.

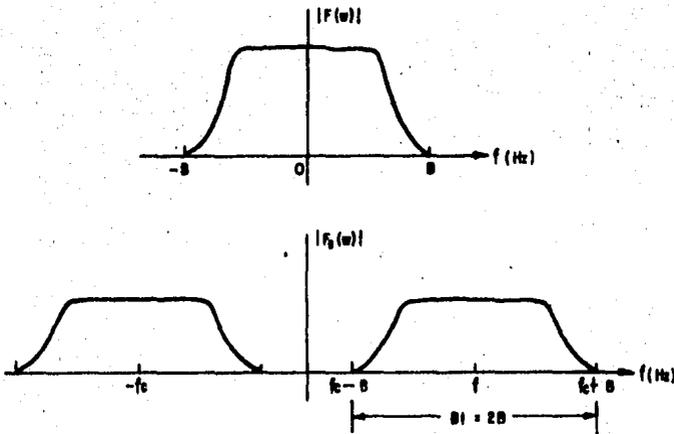


Fig. III.3.3.- Ejemplo de la Conformación de Caída Senoidal.

A causa de la forma de la ecuación III.11, el desplazamiento de frecuencia de una señal  $f(t)$  debido a la multiplicación por  $\cos \omega_c t$  es un resultado general de las señales de AM. Es to es cierto para todas las señales moduladas  $f(t)$  y no solamente para el caso binario que se está considerando. Por ejemplo, sea  $f(t) = \cos \omega_m t$ , una simple onda senoidal de frecuencia  $\omega_m$ . Entonces por trigonometría:

$$\cos \omega_m t \cdot \cos \omega_c t = \frac{1}{2} \cos (\omega_m + \omega_c) t + \frac{1}{2} \cos (\omega_m - \omega_c) t$$

El dibujo espectral de una simple línea que representa  $\cos \omega_m t$  se reemplaza entonces por dos líneas, distribuidas simétricamente alrededor de  $\omega_c$ . En forma similar, si  $f(t)$  es una suma finita de ondas senoidales, cada onda senoidal se traslada hasta la frecuencia  $\omega_c$ .

Como otro caso especial, supóngase que la señal  $f(t)$  es un simple pulso rectangular. (Este es entonces el caso especial de un tren binario de pulsos en el cual todos los símbolos son 0, excepto por un 1). Para un pulso de amplitud  $A$  y ancho  $T$  (el intervalo binario), el espectro de la señal de AM es simplemente:

$$\frac{AT}{2} \left[ \frac{\text{Sen } (\omega - \omega_c)T/2}{(\omega - \omega_c)T/2} + \frac{\text{Sen } (\omega + \omega_c)T/2}{(\omega + \omega_c)T/2} \right]$$

Con un ancho de banda inicial de aproximadamente  $1/T$  hertz (desde la frecuencia 0 hasta el primer cruce por cero), se tiene ahora un ancho de banda de transmisión de  $2/T (\pm 1/T$  alrededor de la portadora). Otro caso especial es el tren binario de unos y ceros que se alternan, resultando una señal alterna periódica de  $00K$ . El espectro de esta señal es justamente el espectro de línea  $(\text{sen } x)/x$  de un pulso de ancho  $T$ , periódico de período  $2T$ , trasladado hasta la frecuencia  $f$ . Esto se muestra en la figura III.3.4.

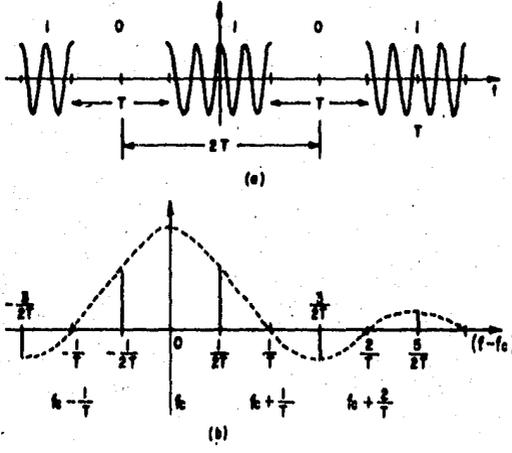


Fig. III.3.4.- Espectro de la Señal Periódica de 00K.  
a).- Señal Periódica de 00K.  
b).- Espectro (sólo de las frecuencias positivas).

III.3.2.- MODULACION POR DESVIACION  
DE FRECUENCIA (FSK)

En este caso, si se considera primero una forma rectangular, para simplificar:

$$\left. \begin{array}{l} f_c(t) = A \cos \omega_1 t \\ 0 \\ f_c(t) = A \cos \omega_2 t \end{array} \right\} - \frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \quad \dots \text{III.13.}$$

El 1 corresponde a la frecuencia  $f_1$ , el 0 a la frecuencia  $f_2$ , como se muestra en la figura III.3.5. (NOTA: generalmente,  $f_1$  y  $f_2 \gg 1/T$ . En algunos sistemas, particularmente sobre líneas telefónicas,  $f_1$  y  $f_2 \sim 1/T$ , como se indica aquí). Una representación alternativa de la onda de FSK consiste en hacer  $f_1 = f_c - \Delta f$ ,  $f_2 = f_c + \Delta f$ . Las dos frecuencias difieren entonces en  $2\Delta f$  hertz. Por lo tanto:

$$f_c(t) = A \cos (\omega_c \pm \Delta\omega) t \quad - \frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \quad \dots \text{III.14}$$

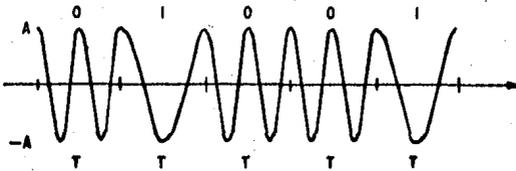


Fig. III.3.5.- Onda de FSK.

La frecuencia entonces se desvía  $\pm \Delta f$  alrededor de  $f_c$ .  $\Delta f$  se denomina comunmente desviación de frecuencia. El espectro de frecuencia de la onda FSK  $f_c(t)$  es en general difícil de obtener. Esto es una característica general de las señales de FM. Sin embargo, un caso especial que proporciona una visión interna de las características espectrales de las señales de FM más complejas y que lleva a una buena regla de la experiencia respecto de los anchos de banda de FM, puede ser fácilmente evaluado. Supóngase que el mensaje binario consiste en una secuencia alternada de unos y ceros. Si ambas frecuencias son múltiplos del recíproco --

del período binario  $T$  (es decir,  $f_1 = m/T$ ,  $f_2 = n/T$ ,  $m$  y  $n$  son enteros) y están sincronizadas en fase, como se ha supuesto en la ecuación III.13, la onda FSK es la función periódica de la figura III.3.6.a. Nótese, sin embargo, que esto puede también visualizarse como la superposición lineal de dos señales periódicas de 00K, como la de la figura III.3.4., una retrasada  $T$  segundos respecto de la otra. El espectro es entonces una superposición lineal de los dos espectros, como el de la figura III.3.4. Específicamente, el espectro positivo de frecuencia es de la forma siguiente:

$$\frac{\text{Sen}\left[\frac{(\omega_1 - \omega_n)T}{2}\right]}{(\omega_1 - \omega_n)T/2} + (-1)^n \frac{\text{Sen}\left[\frac{(\omega_2 - \omega_n)T}{2}\right]}{(\omega_2 - \omega_n)T/2}$$

Con  $\omega_n = \pi n/T$ ,  $\omega_1 = \omega_c - \Delta\omega$ ,  $\omega_2 = \omega_c + \Delta\omega$ . Este espectro se muestra esquemáticamente en la figura III.3.6.b., para el caso especial  $\Delta f \gg 1/T$ . El ancho de banda de esta señal periódica es entonces  $2\Delta f + 2B$ , donde  $B$  es el ancho de banda de la señal de banda base. (Las líneas de trazos que se muestran en la figura III.3.6.b., se usan simplemente para unir las líneas discretas y no tienen otro significado).

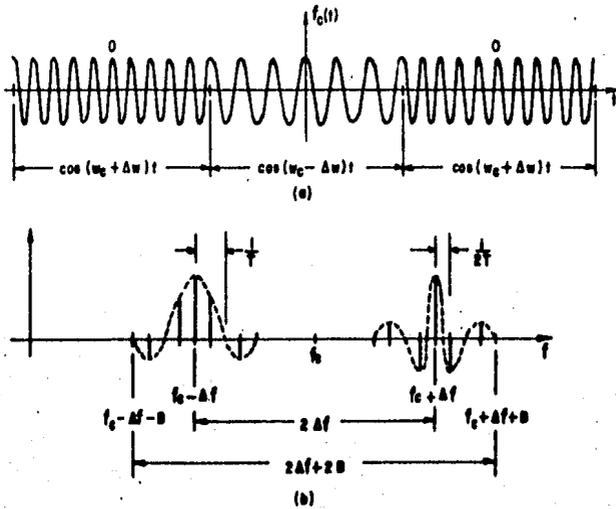


Fig. III.3.6.- Espectro de la Onda Periódica de FSK.

a).- Señal periódica de FSK.

b).- Espectro (sólo de las frecuencias positivas).

Hay dos casos extremos interesantes:

1.- Si  $\Delta f \gg B$ , el ancho de banda tiende a  $2\Delta f$ . Así pues, si se usa una gran separación entre los tonos en el sistema FSK, el ancho de banda es esencialmente el mismo que esa separación. Es virtualmente independiente del ancho de banda de la señal de banda base binaria. Esto es fundamentalmente distinto del caso de AM.

2.- Si  $\Delta f \ll B$ , el ancho de banda tiende a  $2B$ . En es

te caso, incluso aunque los tonos se elijan muy poco espaciados, - el ancho de banda mínimo es aún el requerido para la transmisión - de 00K (AM); ahora el ancho de banda está determinado por la señal de banda base.

El primer caso se llama comúnmente FM de banda ancha, y el segundo FM de banda angosta. Se verá brevemente que el ancho de banda  $2\Delta f + 2B$  y sus valores extremos son muy buenas aproximaciones a los anchos de banda de FM que resultan con las señales moduladoras complejas. Este análisis realizado mediante el uso de simples señales binarias proporciona, además, para la determinación del ancho de banda de FM, una mejor visión interna de la que es posible con las señales complejas. En particular, si la señal de banda base es una sucesión arbitraria de pulsos binarios, - cada uno de los cuales se encuentra conformado por una caída senoidal de factor  $r$ , el ancho de banda aproximado de la señal correspondiente FSK está dado por  $2\Delta f + 2B$ , con  $B = (1/2T)(1+r)$ , donde  $T$  es el ancho de banda del pulso de la banda base (o de la señal -- FSK). La forma exacta del espectro de FSK es difícil de calcular, pero su forma debería ser aproximadamente la que se muestra en la figura III.3.7.

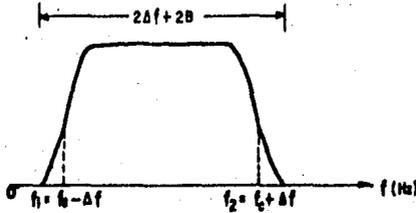


Fig. III.3.7.- Espectro de FSK con Conformación de Caída Sencidal (sólo de las frecuencias positivas).

Nótese que el ancho de banda de transmisión es generalmente mucho mayor que el de AM, que es siempre de  $2B$ , es decir, el doble del ancho de banda de la banda base. Entonces, ¿Por qué usar la FM? El ancho de banda de transmisión mayor es justamente la prioridad que hace de FM un sistema en el cual el comportamiento es superior al de AM en un ambiente ruidoso. Esto es análogo al resultado de la modulación de pulsos que ya se ha mencionado en este capítulo. La codificación de las señales de modulación por amplitud de pulsos (PAM) en señales moduladas por codificación de

pulsos (PCM) resulta en una extensión del ancho de banda del sistema, pero la inmunidad del ruido crece considerablemente.

Es común en el análisis de FM denotar la dependencia del ancho de banda de transmisión de las magnitudes relativas de la desviación de frecuencia  $\Delta f$  y del ancho de banda  $B$  de la banda base, definiendo el parámetro denominado índice de modulación, como el cociente entre los dos. Así pues:

$$\beta \equiv \frac{\Delta f}{B} \quad \dots\dots \text{III.15.}$$

En términos de  $\beta$  el ancho de banda de transmisión en

FM es:

$$\begin{aligned} B_T = \text{ancho de banda de FM} &= 2\Delta f + 2B \\ &= 2B(1+\beta) \quad \dots\dots \text{III.16.} \end{aligned}$$

Los sistemas de FM de banda angosta corresponden a  $\beta \ll 1$ , los de banda ancha a  $\beta \gg 1$ . El índice de modulación  $\beta$  desempeña un importante papel durante el análisis de FM.

III.3.3.- MODULACION POR DESVIACION  
DE FASE (PSK).

En este caso, se tiene que la señal modulada por corrimiento de fase está dada por:

$$f_c(t) = \pm \cos \omega_c t \quad -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \quad \dots \text{III.17.}$$

Si se ha puesto una forma rectangular para los pulsos. Aquí un 1 en la hilera binaria de la banda base corresponde a la polaridad positiva, y el 0 corresponde a la negativa. La señal de PSK corresponde entonces esencialmente a una hilera binaria polar NRZ, como se muestra en la figura III.3.8., trasladada hacia arriba en frecuencia. Un ejemplo de ello se muestra en la figura III.3.9. Las transiciones discontinuas de fase al comienzo y al final de cada intervalo de bit, cada vez que tiene lugar una transición entre 1 y 0 o entre 0 y 1, se suavizan realmente durante la transmisión gracias a la forma que se ha usado. La información, independientemente de la polaridad, es, sin embargo, retenida en el centro de cada intervalo, de manera que la decodificación en el receptor se lleva a cabo en las proximidades del centro de los pulsos. Esto también es cierto para las señales OOK y FSK. Las señales PSK tienen la misma característica de doble banda lateral que la transmisión OOK. Introduciendo la conformación de caída del es

pectro en los pulsos de alta frecuencia de la ecuación III.17, resulta un espectro centrado en las frecuencias de la portadora  $f_c$  con un ancho de banda igual al doble del espectro de la banda base que ha sido conformado.

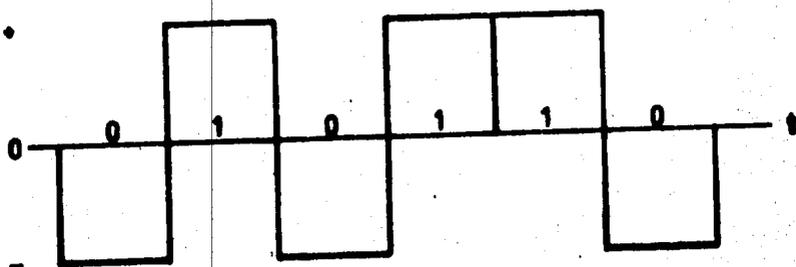


Fig. III.3.8.- Hilera Binaria Polar NRZ.

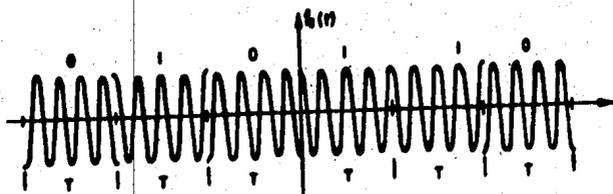


Fig. III.3.9.- Señal de PSK.

#### IV.- DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

##### IV.1.- SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

En esta sección se describe la función del sistema de supervisión y control, el cual es esencial para operar estaciones repetidoras sin atención. Para la operación continua estable durante largos períodos, como se requiere para los sistemas de transmisión multicanal, es necesario proveer arreglos de supervisión, asistencia y de control remoto para estaciones repetidoras sin atención.

Estas forman una parte esencial del sistema de transmisión y tienen considerable influencia en la configuración total y en el costo.

Una señal de comunicación de supervisión y control entre una estación desatendida y una atendida, debe realizarse de la forma más simple para conocer el estado de operación de una estación sin atención.

Los puntos que los diseñadores de sistemas deben aclarar, son, el número de estaciones sin atención, la velocidad de transmisión de la supervisión y el control remoto y la rentabi

lidad del sistema de supervisión y del control remoto. Comentarios sobre estos puntos se dan a continuación.

1.- El número de estaciones sin atención, se decide del estudio de la rentabilidad del sistema. Por otro lado, es preferible desde el punto de vista del diseño de equipos, que las clases de equipos tengan mínimo mantenimiento. Como resultado, los equipos de supervisión y control remoto de un sistema típico están unificados para controlar cinco estaciones sin atención.

2.- No se requieren altas velocidades de transmisión para las señales de supervisión y control remoto. Sin embargo, la ausencia en el display de las luces de supervisión y la no aparición del control remoto debe ser prevenida. De acuerdo con esto, algunos dispositivos para reconfirmar la carencia de supervisión y control son necesarios.

3.- La rentabilidad del sistema debe ser tan alta como sea posible. Si la rentabilidad de un sistema de supervisión y control no es suficientemente alta, la rentabilidad total del sistema decrecerá.

#### IV.2.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL.

Todos los equipos radio-repetidores están previstos con un número de dispositivos de monitoreo y señalización. Las señales de indicación están dadas en el equipo y son en general, también presentadas mediante contactos de señalización con conexiones externas. Las señales más importantes a ser transmitidas por un equipo de supervisión y control son las siguientes:

1.- ALARMA: falla del repetidor, falla del motor, puerta abierta, fuego, etc.

2.- CONTROL: encendido del motor, control de los conmutadores de la ramificación de televisión, etc.

3.- DISPLAY: la potencia comercial es suministrada o no, el motor está operando o no, la potencia del transmisor es normal o no, los conmutadores están operando normalmente o no, etc.

Dichas señales son representadas en el tablero de la estación central.

La información para estas señales de supervisión y

control está usualmente codificada y transmitida a través de un enlace de control. Ordinariamente, una estación atendida controla varias estaciones desatendidas y un enlace de control es comunmente usado por estas estaciones.

Las estaciones sin atención están provistas con equipo de indicación remota, el cual transmite las señales de supervisión y sus cambios a una estación central de control atendida.

Los sistemas que operan con señales de pulsos codificados para señales de identificación, en los cuales un cierto código corresponde a cada señal y las diferentes señales son transmitidas secuencialmente a través de un canal de comunicación con un ancho de 60 cps., o de 120 cps., han sido probados en la práctica. El estado de cada estación puede ser revisado mediante una pregunta de la estación central. Cualquier cambio es transmitido sin tardanza e indicado acústica y visualmente en el tablero de supervisión central.

La operación de un sistema típico de supervisión y control remoto se describe a continuación. Una estación de mantenimiento y una estación desatendida están conectadas mediante un enlace de control como se muestra en la figura IV.2.1.

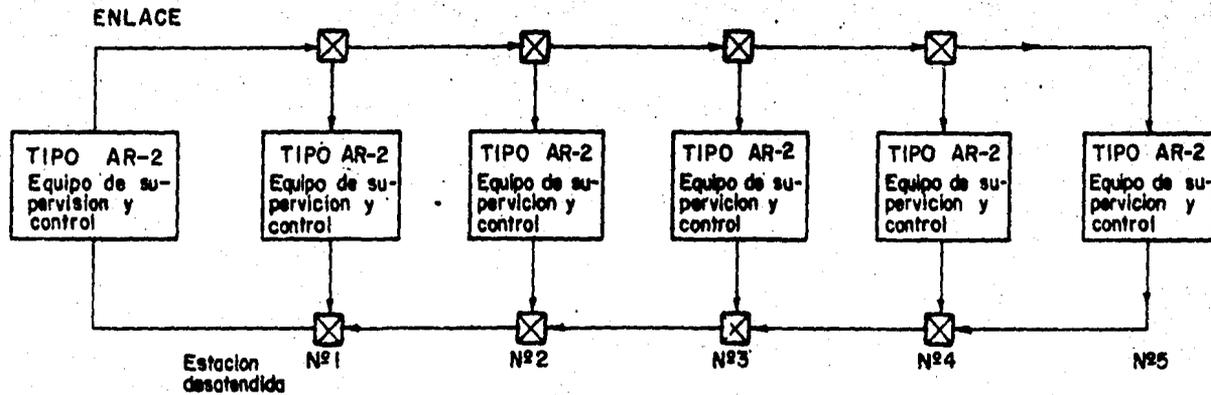


Fig. IV.2.1.- Sistemas de Supervisión y Control.

En este sistema, la estación de mantenimiento puede supervisar y controlar hasta cinco estaciones desatendidas.

El código está hecho de una combinación de cinco -- frecuencias  $f_1$  (1100 Hz) hasta  $f_5$  (1900 Hz), separados por 200 Hz., en secuencia. El arreglo del código es mostrado en la tabla IV.1.

TABLA IV.1.- COMBINACION DE SEÑALES DE SUPERVISION Y CONTROL.

	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>
X <sub>1</sub>	0				
X <sub>2</sub>		0			
X <sub>3</sub>	0	0			
X <sub>4</sub>			0		
X <sub>5</sub>	0		0		
X <sub>6</sub>		0	0		
X <sub>7</sub>				0	
X <sub>8</sub>	0			0	
X <sub>9</sub>		0		0	
X <sub>10</sub>		0		0	
Y <sub>1</sub> - Y <sub>10</sub>	Se agrega f <sub>5</sub> a la correspondiente X <sub>1</sub> - X <sub>10</sub>				
Estación seleccionada 1		0	0	0	0
Estación seleccionada 2	0		0	0	0
Estación seleccionada 3	0		0	0	0
Estación seleccionada 4	0	0	0	0	
Estación seleccionada 5	0	0	0		0
Liberación de estación	0	0	0	0	0

Mediante la combinación de una o dos de cuatro frecuencias  $f_1$  a  $f_4$ , diez clases de señales de  $X_1$  a  $X_{10}$  son obtenidas. Cada una de las señales  $Y_1$  a  $Y_{10}$  es obtenida añadiendo la frecuencia  $f_5$  a cada una de las correspondientes señales  $X_1$  a  $X_{10}$ . Códigos de 100 caracteres son disponibles mediante la combinación de dos grupos de códigos,  $X_1$  a  $X_{10}$  e  $Y_1$  a  $Y_{10}$ , 22 códigos son usados para el control y 66 para alarmas.

En la transmisión de estos mensajes codificados, la estación transmisora envía primero una de las X señales. Una vez recibida, la estación receptora envía de regreso la misma X señal. Confirmando que sea la misma señal transmitida, la estación transmisora detiene la señal X y envía una señal Y. Cuando la señal Y es enviada de regreso de la estación receptora, el circuito es similarmente confirmado, entonces la estación transmisora envía la siguiente señal X. Por esto cada código es transmitido -- después de confirmar que la línea de transmisión y el circuito receptor están trabajando correctamente. Si la señal enviada de regreso no es idéntica a la enviada inicialmente, el sistema detiene su acción al instante para protegerse del comportamiento erróneo, y envía una alarma al operador.

La alarma de una estación desatendida opera como sigue:

1.- En un estado normal, cada una de las cinco estaciones desatendidas envía una frecuencia asignada llamada "señal de estación", la cual es una de las cinco frecuencias  $f_1$  a  $f_5$ , a la estación de mantenimiento. Una vez recibida, la estación de mantenimiento confirma que cada una de las estaciones desatendidas está trabajando satisfactoriamente.

2.- Cuando ocurren problemas de una estación desatendida, el equipo dañado informa su problema mediante el envío del potencial a tierra al equipo de supervisión y control en esa estación. Este equipo informa que ocurrió un problema a la estación de mantenimiento mediante el paro inmediato de la señal de estación.

3.- La estación de mantenimiento envía un código seleccionado, el cual es el mismo al de la señal de estación desatendida en problemas, haciendo que todas las otras estaciones detengan las señales de estación.

4.- Cuando todas las señales de estación se detienen, la estación de mantenimiento deja de enviar el código seleccionado. Está ahora lista la estación de mantenimiento para intercambiar información con la estación en problemas.

5.- En la estación desatendida dañada, el circuito de envío de alarma es estimulado por la terminación del código selectivo y comunica el punto dañado a la estación de mantenimiento con combinaciones de señales X e Y. En la estación de mantenimiento (E-MTO) las lámparas indicadoras correspondientes al punto dañado se encienden.

Cada paso de esta acción es ejecutado automáticamente tan pronto como ocurre un problema. Después de la confirmación del problema, el operador en la E-MTO presiona el botón de liberación para enviar el código de liberación de estación (todas de  $f_1$  a  $f_5$ ), colocando cada estación desatendida libre para enviar la señal de estación otra vez.

Cuando surge una condición de falla en una de las estaciones desatendidas (E-DES) mientras que el circuito de alarma está ocupado por otra estación, la señal de condición de falla es almacenada y tan pronto como el código de liberación de estación pone el circuito de alarma libre, el problema es comunicado al centro de alarma.

El operador de una E-MTO puede controlar varios equipos en E-DES. El control remoto es completado como sigue:

1.- El operador oprime el botón para enviar una señal de estación selectiva. En el caso de una falla, todas las estaciones desatendidas detienen sus señales de estación.

2.- La estación seleccionada reporta las condiciones de todos los circuitos a través del circuito de transmisión de alarma a la E-MTO y está lista para recibir señales de control.

3.- El operador presiona el botón del equipo de control y el equipo a ser controlado es confirmado.

4.- El operador oprime el botón de encendido o apagado para iniciar o detener el equipo a ser controlado. En la E-DES, el potencial a tierra (en caso de incendio) o un voltaje de -22 volts. (en caso de detener) es aplicado al equipo de control.

5.- Cuando el equipo es controlado, los resultados del control son reportados a la E-MTO.

6.- El operador presiona el botón de liberación de estación para colocar libres a todas las E-DES. El sistema de supervisión y control restaura la condición normal.

El número de canales telefónicos previstos para sistemas auxiliares deben ser del orden de 3 a 4. Dos de ellos son requeridos para comunicación de voz, uno de terminal a terminal y el otro para el servicio entre las estaciones terminales y las repetidoras. Uno o dos canales de 3 KHz tienen que ser provistos para la supervisión remota y el control remoto.

La idea básica que deberá aclararse antes de planear estos sistemas, es la clase y número deseado de señales de supervisión y control. Conforme el número de señales de supervisión y control aumenta, el sistema resultará más costoso. Por otro lado, el control y la supervisión adecuados no pueden ser ejecutados por pocas señales codificadas.

V.- SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

V.1.- RED DEL SISTEMA DE SUPERVISION  
Y CONTROL.

Un sistema de supervisión y control, el cual ejecuta la supervisión remota de estaciones repetidoras sin atención y la conmutación automática de sistemas de radio multilínea, es indispensable para el mantenimiento y operación de sistemas de radio comunicación y varios tipos de equipos de supervisión y control han sido ampliamente usados en combinación con equipos de radio comunicaciones, estos equipos están especialmente dedicados a proporcionar conveniencia en el mantenimiento por el hombre y para la interface entre el equipo y el personal de mantenimiento. De aquí que indicaciones visuales y audibles mediante lámparas y zumbadores han sido comunmente empleados. Este método es satisfactoriamente efectivo con el apoyo de la capacidad de respuesta y juicio del hombre, tanto que el sistema al ser supervisado resulta pequeño en tamaño y el número de estaciones supervisadas y de estaciones supervisoras es manejable.

Sin embargo, cuando las redes de radiocomunicaciones se expandan y la cantidad de información supervisora resulte grande, alcanzará alguna limitación donde el hombre no pueda re-

solver un problema mediante métodos convencionales dependiendo de los sentidos humanos de la vista y del oído.

Más aún, la expansión de redes de radio aumenta los problemas del déficit de ingenieros expertos y la necesidad de la simplificación del trabajo de mantenimiento en adición a la complicación de sistemas de supervisión y control.

Por lo tanto, bajo la extensión de las técnicas de procesamiento de datos y la mejora en la rentabilidad de la aplicación de circuitos, la espectación se ha enfocado en realizar un sistema más sofisticado.

El sistema de supervisión y control está diseñado para facilitar una gran parte de las utilidades en la operación y mantenimiento de sistemas de radio comunicación mediante la concentración de la información de supervisión y control y la presentación automática de esta información en una pantalla.

Con el uso de la moderna tecnología de la computación aplicada a la supervisión y control de sistemas de comunicación se obtendrán las siguientes ventajas:

- 1.- Información sistemática de la operación y del -

mantenimiento.

2.- Grabación automática de eventos y generación de reportes.

3.- Operación menos difícil como también menor mano de obra.

La figura V.1.1., muestra un sistema de supervisión y control para una red típica de microondas.

- ▨ 1 Estacion sub-maestra
- 1 Estacion maestra
- 13 Estaciones repetidoras
- 7 Estacion terminal

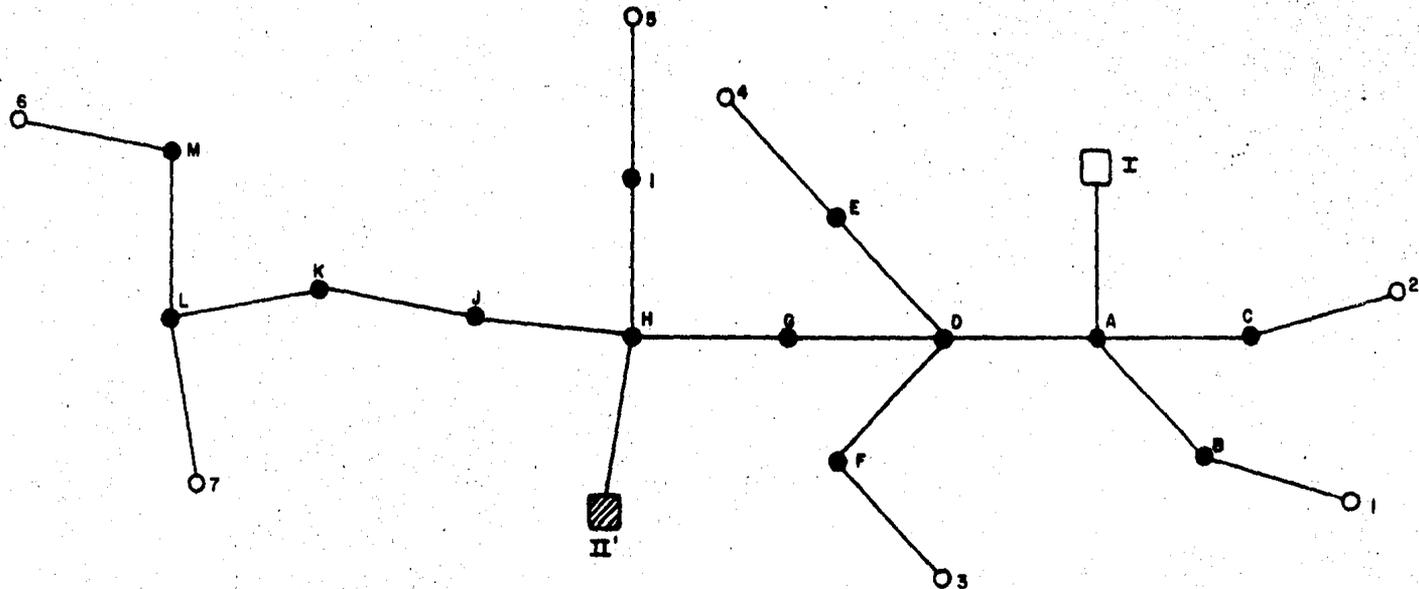


Fig. V.1.1.- Red para el Sistema de Supervisión y Control.

V.2.- OPERACION FUNCIONAL DE LA RED DE SUPERVISION Y CONTROL.

Dos métodos de reporte de transporte de datos son - empleados en el sistema de supervisión remota consistente en el - equipo de la serie NAR-500.

V.2.1.- SECUENCIA DE REPORTE NORMAL.

En este método la estación maestra interroga a las estaciones esclavas en orden, desde la estación esclava número 1 hasta la última estación para el reporte de datos.

Cuando la señal de respuesta de una estación esclava no es recibida en un cierto tiempo, la estación maestra no repite la pregunta a esa estación esclava, entonces interroga a la siguiente estación. Si no vuelve a existir señal de respuesta de esa estación esclava en el siguiente ciclo de transporte, la estación maestra lo indica como alarma supervisora (SV-ALM).

Cuando la estación esclava recibe la pregunta de envío de datos de la estación maestra, la falla y el dato de estado son codificados a un tren de pulsos en serie y convertidos a una señal de tono FSK, entonces lo transmite a la estación maestra.

La estación maestra recibe la señal de tono FSK e indica la información del cambio de estado (COS), alarma de estación (STA-ALM) y alarma supervisora (SV-ALM), de la estación en cuestión mediante la decodificación de los datos recibidos.

El número de estaciones esclavas que son supervisadas por la estación maestra es hasta de 128.

Este método de supervisión se muestra en la figura

V.2.1.

### SECUENCIA DE TRANSPORTE NORMAL

- 1.- La estación maestra interroga a la estación esclava N° 1
- 2.- La estación esclava N° 1 envía su información de estado a la estación maestra
- 3.- La estación maestra interroga a la estación esclava N° 2
- 4.- La estación esclava N° 2 envía su información de estado a la estación maestra

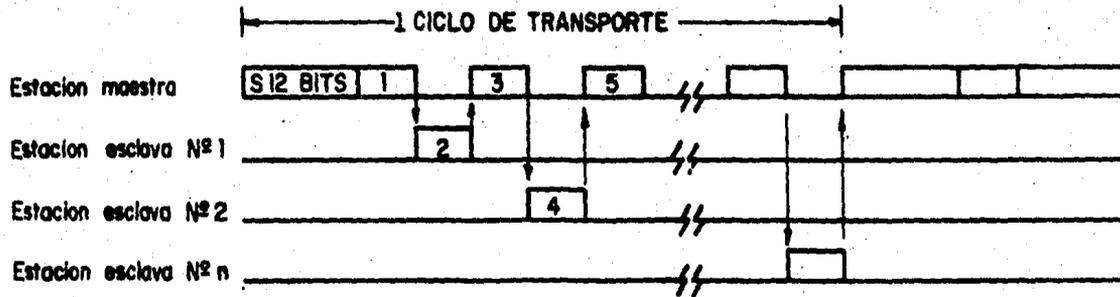


Fig. V.2.1.- Secuencia de Transporte Normal.

V.2.2.- SECUENCIA DE SELECCION DE ESTACION.

En este segundo método, la estación maestra interroga en primer lugar a alguna estación previamente seleccionada. Dicha selección puede deberse a diversos motivos; como por ejemplo:

a).- Alguna falla transitoria.

b).- Por haber recibido mantenimiento correctivo.

c).- Por condiciones anormales en la región de ubicación de la estación.

La estación seleccionada envía su información de estado a la estación maestra. A continuación la estación maestra -interroga a la estación número 1, la cual envía su información de estado a la estación maestra.

La estación maestra vuelve a supervisar la estación previamente seleccionada para verificar su estado de operación, - la estación seleccionada envía su información de estado a la estación maestra.

Esta secuencia se repite hasta completar este ciclo con las "n" estaciones del sistema. Esto se muestra en la figura V.2.2.

## SECUENCIA DE SELECCION DE ESTACION

- 1 - La estacion maestra interroga a la estacion esclava N° X seleccionada
- 2 - La estacion esclava N° X envia su informacion de estado a la estacion maestra
- 3 - La estacion maestra interroga a la estacion esclava N° 1
- 4 - La estacion esclava N° 1 envia su informacion de estado a la estacion maestra
- 5 - La estacion maestra interroga a la estacion esclava N° X seleccionada
- 6 - La estacion esclava N° X envia su informacion de estado a la estacion maestra
- 7 - La estacion maestra interroga a la estacion esclava N° 2
- 8 - La estacion esclava N° 2 envia su informacion de estado a la estacion maestra
- 9 - La estacion maestra interroga a la estacion esclava N° X seleccionada
- 10 - La estacion esclava N° X envia su informacion de estado a la estacion maestra

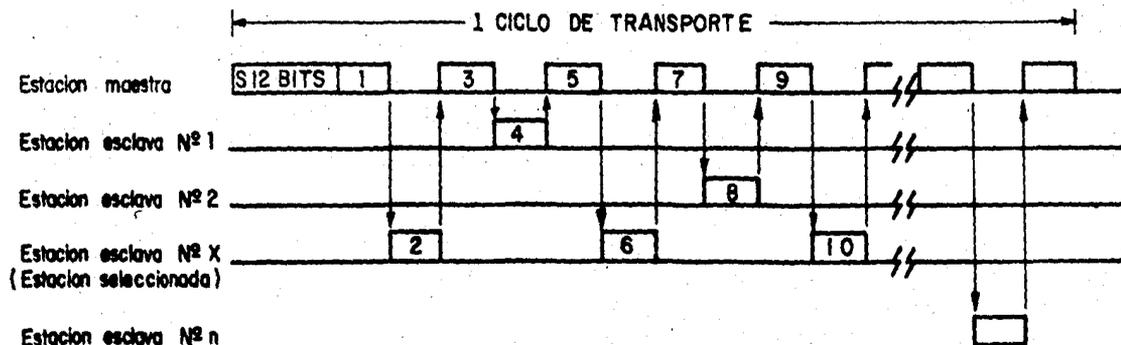


Fig. V.2.2.- Secuencia de Selección de Estación.

V.3.- TRANSMISION DE DATOS.

La pregunta (CODIGO DE INTERROGACION) y el dato de estado de la estación supervisora (CODIGO DE RESPUESTA) son de la forma de una serie de trenes de pulsos codificados y éstos son -- convertidos a un tono de FSK para transmitirse sobre el canal de servicio.

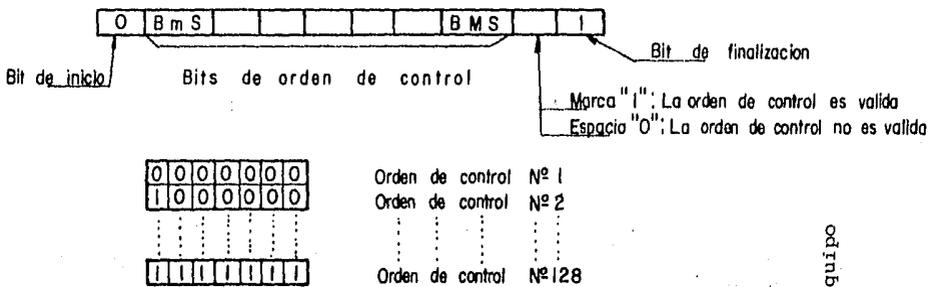
Como estándar de NEC, tres sistemas de FSK son adoptados por el equipo de la serie NAR-511/512 y son sistemas de 50, 200 y 1200 bauds.

El sistema FSK introducido en el equipo de la serie NAR-511/512, cumple con las recomendaciones del C.C.I.T.T.

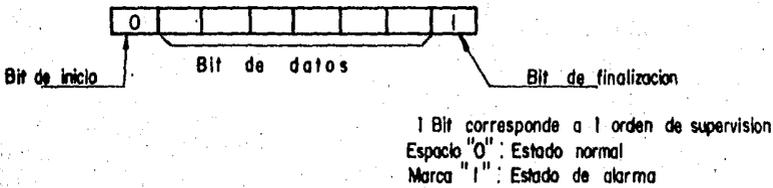
El formato del código de datos empleado en el equipo NAR-511/512 está ilustrado y descrito en la figura V.3.1.



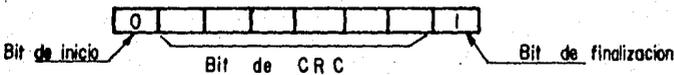
V) CONT: Control (Palabra de control)



V) Data: Dato (Palabra de datos)



Vi) CRC: Supervision ciclica de redundancia (Palabra C.R.C.)



Vii) EXT: Fin de texto (Cuadro de sincronizacion)

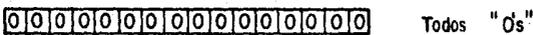


Fig. V.3.1.- Formato del Código de Datos del Equipo NAR-511/512. (CONTINUACION).

VI.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL.

Como se ha venido mencionando anteriormente, existe una necesidad imperiosa de contar con el equipo adecuado para llevar a cabo la supervisión y el control de un sistema de radiocomunicación cuyas aplicaciones pueden ser diversas, como por ejemplo, una red de microondas (analógicas y digitales), sistemas de comunicación vía satélite, redes de conmutación, sistema de potencia eléctrica, etc.

Existen en el mercado gran diversidad de equipos -- que emplean la más moderna tecnología en las comunicaciones para satisfacer las necesidades que se tengan para cubrir un fin determinado.

Dentro de las múltiples alternativas que ofrece el mercado de equipos, hemos seleccionado a la NEC (Nipon Electric Company), dada su alta calidad y tecnología en la fabricación de equipos para sistemas de comunicación.

**VI.1.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL  
DE LA SERIE NAR/500.**

**VI.1.1.- DESCRIPCION DEL EQUIPO.**

El equipo de la serie NAR/500 está dividido en los\_ siguientes equipos de acuerdo a sus funciones. Como se muestra - en la tabla VI.1.

TABLA VI.1

EQUIPO DE LA SERIE NAR/500

EQUIPO	FUNCION.
NAR-511A	Estación de supervisión maestra/ equipo sub-maestro para decodifi- cación de datos de supervisión/ codificador de orden-s de con-- trol.
NAR-511D	Estación de supervisión maestra/ equipo sub-maestro para supervi- sión e indicación de datos de -- control/indicación de transporte a la estación maestra.
NAR-512R	Equipo de supervisión esclavo pa ra estación repetidora.
NAR-512T	Equipo de supervisión esclavo pa ra estación terminal.
NAS-501	Módulo de servicio (Equipo telefónico).
	Equipo de servicio y accesorios.

VI.1.2.- ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.

Las especificaciones del equipo de la serie NAR/500 están descritas a continuación.

1.- Número de Estaciones de Supervisión y Control.

- a).- Número de estaciones maestras: 1.
- b).- Número de estaciones sub-maestras: hasta 7.
- c).- Número de estaciones esclavas: hasta 128.

2.- Supervisión Remota.

a).- Número de acciones de supervisión: hasta 128/  
estación.

b).- Display.

- Método: display común para cada  
estación remota.

- Display de estación: Supervisión de falla  
(SV FAIL), alarma de es  
tación (ST ALM), cambio  
de estado (COS).



f).- Detección de error: supervisión ciclica de - redundancia.

g).- Condición de control de salida:

- Normal: circuito abierto.

- Control: Circuito cerrado de aproximadamente 100 ms. por medio de contactos de relevador.

#### 4.- Canal de Ordenes.

a).- Conexión: Party line conection.

b).- Banda de frecuencia:

- Canal general de ordenes: De 0.3 a 3.4 KHz.

- Canal particular de ordenes: De 8.3 a 11.4 KHz.

c).- Método de llamada: Por altavoz.

d).- Equipo telefónico: Manual.

#### 5.- Multicanalización del canal de servicio:

a).- Modulación: Modulación en amplitud, banda lateral única, portadora suprimida.

b).- Colocación en frecuencia:

- Canal general de ordenes: De 0.3 a 3.4 KHz. (directamente).

- Control de supervisión: De 4 a 8 KHz (directamente)
- Canal de ordenes particular: De 8 a 12 KHz.

c).- El nivel e impedancia de la línea:

- Entrada: -20 dbm/600 ohms.
- Salida : -30 dbm/600 ohms.

6.- Fuente de Poder:

a).- Voltaje de la fuente de poder: c.d. -24 volts.  
(-20 a -28 volts).

6

c.d. -48 volts.  
(-36 a -75 volts).

7.- Condiciones ambientales.

a).- Condiciones para transporte y almacenamiento:

- Temperatura de -20°C a 60°C.
- Humedad relativa; menos que el 95% a +25°C.

b).- Rendimiento garantizado en operación para:

- Temperatura ambiente: de 0°C a +45°C.

- Humedad ambiente: menos que el 95% a +25°C.

c).- Operación garantizada para:

- Temperatura ambiente de -10°C a +50°C.

- Humedad ambiente: menos que el 95% a +25°C.

**8.- Dimensiones:**

a).- Altura: 950 mm.

b).- Ancho: 130 mm.

c).- Fondo: 225 mm.

**VI.2.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL  
REQUERIDO.**

**VI.2.1.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL REQUER  
RIDO POR UNA ESTACION MAESTRA.**

<b>EQUIPO:</b>	<b>CANTIDAD:</b>
- NAR-511A	1
- NAR-512T	1
- NAR-511D	1
- NAS-501	1
- 390-MM (Módulo de conexiones)	1

- Panel de accesorios.	1
- PDB/IDB (Unidad de Distribución de Potencia).	1
- Equipo de Mantenimiento.	LOTE
- Manual de operación y servicio.	1

VI.2.2.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL  
REQUERIDO POR UNA ESTACION SUB-  
MAESTRA.

EQUIPO:	CANTIDAD.
- NAR-511A	1
- NAR-511D	1
- NAR-512T	1
- NAS-501	1
- 390-MM (Modulo de conexiones)	1
- PDB/IDB (Unidad de Distribución de Potencia)	1
- Manual de operación y servicio.	1

VI.2.3.- EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL  
REQUERIDO POR UNA ESTACION ES-  
CLAVA TERMINAL.

EQUIPO:	CANTIDAD.
- NAR-512T	1
- NAS-501	1
- Manual de operación y servicio.	1

VI.2.4. EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL  
REQUERIDO POR UNA ESTACION ES-  
CLAVA REPETIDORA.

EQUIPO:	CANTIDAD:
- NAR-512R	1
- NAS-501	1
- Manual de operación y servicio.	1

VII.- INSTALACION Y OPERACION DEL EQUIPO DE SUPERVISION Y CONTROL.

VII.1.- INSTALACION.

VII.1.1.- PLANEACION DE LA INSTALACION.

Esta sección contiene las informaciones requeridas para la planeación de instalación de los equipos NAR.

A).- SALA DE EQUIPOS.

El requerimiento general para la sala de equipos -- que deberá ser considerado cuando se planifica la instalación, se describe en los párrafos siguientes:

a).- Altura del Techo.

La sala de equipos deberá tener una altura de techo de aproximadamente 3,000 mm.

El área en la cual se instale el equipo de supervisión y de control NAR deberá estar libre de ductos de calefacción y de ventilación, tuberías de agua o de electricidad y de fijadores colgantes para iluminación.

Si existen estas instalaciones deberán dejar libres por lo menos 3,000 mm., por encima del nivel del suelo.

b).- Carga del Piso.

La carga de piso deberá ser suficiente para soportar los pesos para instalación de los equipos NAR y los equipos de radio.

c).- Estructuras de Soporte para Escalerilla de los Cables.

La sala de equipos deberá tener instalados canales en el techo, de los cuales se puedan soportar las escalerillas y ductos de los cables.

Las canaletas deberán instalarse sobre centros de cinco pies.

d).- Condiciones Ambientales.

Para la mayoría de los casos, la ventilación normal es adecuada para los equipos NAR.

La humedad relativa del ambiente no debe exceder de 95%.

El equipo NAR está diseñado para operar dentro del rango de temperatura de 0°C a +50°C.

Para un comportamiento óptimo, el equipo NAR deberá operar a la temperatura de la sala de +15°C.

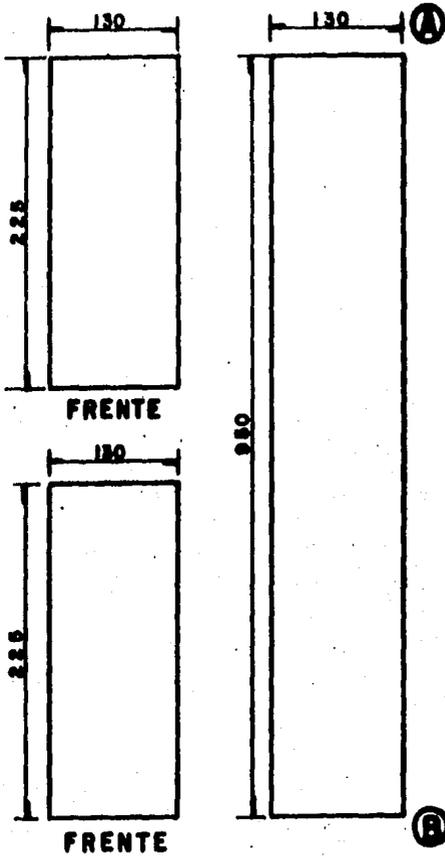
Las condiciones climáticas de la sala en donde se va a instalar los equipos NAR, determinará el tipo del equipo necesario para mantener la temperatura dentro del rango deseado.

Si se instala un equipo de calefacción, deberá mantenerse la temperatura mínima de +5°C.

Si se va a instalar un equipo de control de humedad se recomienda que la humedad relativa se mantenga lo más baja posible y en ningún caso mayor que 95%.

e).- Requerimiento del Espacio.

La figura VII.1.1., provee las informaciones y los datos necesarios para determinar el requerimiento de espacio y para planificar la instalación del equipo NAR.



A-Vista de tope-

B-Vista de fondo

Fig. VII.1.1.- Dimensiones del Equipo NAR/500.

f).- Espacio Libre para Equipos.

El bastidor de equipos cuando es instalado en la sala de equipos, requiere aproximadamente de un espacio libre de 1.200 mm., para su acceso por la parte delantera.

B.- CONEXION A TIERRA.

La conexión a tierra del equipo NAR es necesaria para la protección de equipos y para evitar el ruido.

Una tierra es un punto de 0.1 ohmios o menos para el blindaje de cable y protectores del equipo NAR son normalmente aceptables. En todos los casos la tierra deberá verificarse para determinar si sus valores son adecuados.

Todos los tableros de terminales de tierra del tope superior de cada uno de los bastidores del equipo NAR deberá conectarse entre ellos y luego conectarse a tierra en un punto común de la tierra de la estación.

**C.- REQUERIMIENTO DE ALIMENTACION PRIMARIA.**

El requerimiento de alimentación de plena carga del equipo NAR varia con el tipo de equipos NAR.

Referirse a las especificaciones del tipo particular de equipos NAR que se provee como datos de apoyo.

### VII.1.2.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACION.

Esta sección describe el procedimiento de instalación, desde el desempaque del equipo hasta el montaje de sus componentes.

#### A.- DESEMPACADO DE EQUIPO.

El bastidor de equipo NAR está normalmente empacado y embarcado en un contenedor especial, hecho de madera gruesa para protección contra golpes, vibraciones y humedades excesivas durante el embarque.

Cada unidad enchufable es empacada y embarcada en contenedores separados de madera.

Cuando se desempaque el equipo NAR, verificar la nomenclatura de equipo, destino y número del embalaje, contra la lista de empaque.

Nota: No desempacar las unidades enchufables a menos que se les pueda enchufar a su posición definitiva inmediatamente después de su desempacado.

**B.- TRANSPORTE Y MANEJO DEL MATERIAL.**

No hay ningún procedimiento especial para manipuleo del equipo NAR.

**C.- REQUERIMIENTO DE CABLES.**

Utilizar cables blindados para las conexiones externas a este equipo para evitar ruidos de línea.

**D.- CABLEADO ENTRE EQUIPOS.**

Conectar el equipo NAR con los equipos asociados correspondientes, utilizando los cables inter-bastidores.

**E.- VERIFICACION DE CONEXIONES A PUENTE.**

En adición de las conexiones a puente básicas indispensables de los componentes de los equipos se hacen algunas conexiones a puente especiales entre las clavijas terminales de las placas de unidad.

Inspeccionar las conexiones a puente refiriéndose a estas tablas antes de montar las unidades al bastidor de equipo.

Nota: Las unidades de repuesto no tienen destino definido para un equipo o estación en especial - antes que se produzca la necesidad de su utilización.

Por esta razón se deben hacer las conexiones - a puente necesarias, propias del lugar a instalarse antes de su montaje.

#### F.- MONTAJE DE UNIDADES.

Montar cada unidad en su posición apropiada y fijarla al bastidor de acuerdo al diagrama de montaje del bastidor.

#### G.- MONTAJE DE PLUGS.

Montar los plugs de eslabón en U en los jacks provistos en cada unidad, de acuerdo con los diagramas de circuito de - las unidades.

VII.2.- OPERACION.

VII.2.1.- GENERALIDADES DE LA OPERACION.

Esta sección contiene la información sobre operación regular del sistema de supervisión y de control.

Los sistemas a ser explicados en esta sección son: sistemas de supervisión remota y de línea de órdenes de ingeniería.

(1) Circuito de Supervisión Remota.

El circuito de supervisión, al recibir el comando de interrogación, informa los datos de estado de la estación a la estación maestra en base de estación por estación.

Solamente cuando una estación particular es seleccionada en la unidad Indicadora de Estación STATION DISP., se exhiben los ítems de monitoreo detallados de la estación, en la estación maestra.

(2) Circuito de Línea de Ordenes de Ingeniería.

El circuito de Línea de Ordenes de Ingeniería inter-

conecta todas las estaciones en base de la línea compartida con un canal de voz.

VII.2.2.- OPERACION DEL SISTEMA.

Las siguientes tablas proveen instrucciones para las operaciones regulares del sistema.

- (1) Encendido del equipo. .... TABLA 1
- (2) Apagado del equipo. .... TABLA 2
- (3) Conversación por la Línea de Ordenes  
(Llamada por altoparlantes). .... TABLA 3
- (4) Supervisión remota. .... TABLA 4
- (5) Liberación del Zumbador. .... TABLA 5

TABLA 1.

PASO	PROCEDIMIENTO.
1	Asegurarse de que todos los controles en el equipo NAR se encuentren en la condición OFF (apagado).
2	Poner el conmutador MAIN de la unidad de Fuente de alimentación PS a la posición ON.
3	Verificar que el diodo LED NORM de la unidad PS se encienda.
4	Poner el conmutador DISP de la unidad PS a la posición ON y asegurarse de que el zumbador no suene.
5	Presionar el botón de presión IND CHECK de la unidad PS y verificar que los diodos LED asociados se enciendan.
Acción:	Si se enciende el diodo LED ALM proceder de acuerdo a las instrucciones de la sección de la localización de fallas de la alarma de alimentación.
Acción:	Si hay algún diodo LED que no se enciende, verificar el botón de presión IND CHECK y el circuito conectado al mismo.

TABLA 2.

APAGADO DEL EQUIPO.

PASO

PROCEDIMIENTO.

- 1 Poner el conmutador MAIN de la unidad PS a la posición OFF.
- 2 Verificar que diodo LED en la unidad PS se enciende y suena el zumbador.
- 3 Presionar el botón de presión AUD RESET de la unidad PS.

TABLA 3.

CONVERSACION POR LA LINEA DE ORDENES  
(Llamada por altoparlante)

PASO

PROCEDIMIENTO.

- 1 En la estación llamadora, insertar el tubo de mano (microteléfono) al jack TEL SET de la unidad TEL y poner el conmutador TALK a la posición de arriba.
- 2 Llamar a una estación distante.  
El atoparlante de la unidad TEL, sonará en todas las estaciones conectadas.
- 3 En la estación llamada, insertar el tubo de mano al jack TEL SET en la unidad TEL y poner el conmutador TALK a la posición de arriba.  
Contestar la llamada por el tubo de mano.

Nota: La intensidad de voz puede ser controlado del -  
mínimo al máximo, girando el control VOL.

**TABLA 4.**

**SUPERVISION REMOTA.**

**PASO**

**PROCEDIMIENTO.**

- 1            En la estación maestra poner el conmutador DISP. de la unidad PS de cada equipo NAR a la posición de arriba.
  
- 2            Presionar el botón de presión STA SEL asociado - en la unidad Indicadora de Estación STATION DISP.
  
- 3            Verificar los items de alarma de la estación seleccionada.

TABLA 5.

**LIBERACION DEL ZUMBADOR.**

<b>PASO</b>	<b>PROCEDIMIENTO.</b>
1	Presionar el botón de presión AUD RESET de la unidad PS en la cual suena el zumbador.
2	Investigar el punto de alarma
	Sonido continuo. .... PS. CLK ALM
	Sonido intermitente. .... Falla de cambio de estado COS, o supervisión SV. (NAR-511A, 511D).

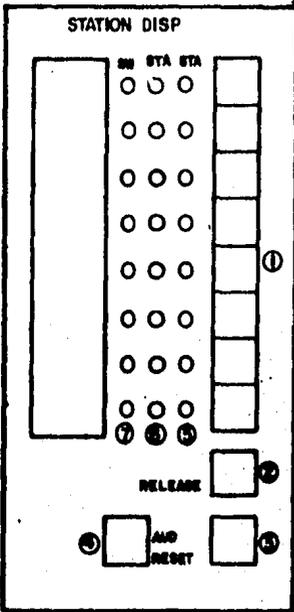
Bajo la operación normal, el equipo de la serie - - NAR-500 no requiere control ni ajuste; sin embargo, los controles e indicadores del equipo se utilizan durante el mantenimiento.

Las funciones de conmutadores e indicadores se describen en las figuras siguientes.

La descripción detallada está referida en la descripción de las unidades.

STATION DISP.	Indicador de estación	Fig.VII.2.1.
DATA DISP.	Indicador de datos	Fig.VII.2.2.
ALM INTFC	Interfaz de alarma.	Fig.VII.2.3.
TEL.	Teléfono.	Fig.VII.2.4.
PS	Fuente de alimentación	Fig.VII.2.5.
METER	Medidor.	Fig.VII.2.6.
SI DEC 2	Decodificador de supervisión para sistema de interrogación 2	Fig.VII.2.7.
SI DEC 3	Decodificador de supervisión para sistema de interrogación 3	Fig.VII.2.8.
200 FS RX	Receptor FSK de 200 baudios	Fig.VII.2.9.
200 FS TX	Transmisor FSK de 200 baudios.	Fig.VII.2.10
S ENC.	Codificador de datos de supervisión.	Fig.VII.2.11
C ENC.	Codificador de datos de control	Fig.VII.2.12

SC REP 1	Repetidor de canal de servicio 1.	Fig.VII.2.13
32 DI	32 Entradas de datos.	Fig.VII.2.14.



(1).- STA SEL: 8 botones para la selección de una estación remota particular para controlar dispositivos o exhibir los datos de supervisión en el panel Indicador de Datos DATA DISP.

Quando un diodo LED de alarma de Estación STA ALM está destellando, se interrumpe este destello intermitente al presionar el botón de selección de Estación STA SEL asociado correspondiente.

(2).- Botón para liberar la selección de Estación.

(3).- Botón para interrumpir el sonido del zumbador.

(4).- Si la unidad SI DEC está provista de la función de almacenamiento de los datos de supervisión, al presionar este botón, se libera al dato almacenado.

(5).- STA SEL: Selección de estación; 8 diodos LED verdes que se encienden cuando se haya seleccionado la estación asociada correspondiente.

(6).- STA ALM: Alarma de estación; 8 diodos LED rojos que se encienden si uno de los items de supervisión de la estación remota asociada se encuentra en estado de alarma. Estos diodos LED también destellan si uno de los items de alarma ha cambiado su estado.

(7).- SV ALM: Alarma de supervisión; 8 diodos LED rojos que se encienden cuando no se reciben los datos de la estación remota. Si se produce un estado de alarma de supervisión SV ALM, la indicación STA ALM en el panel STATION DISP y la indicación del ítem de alarma en el panel Indicador de Datos DATA DISP no cambian hasta que el sistema se haya restaurado desde su estado de alarma.

Fig. VII.2.1.- UNIDAD INDICADORA DE ESTACION. STATION DISP.

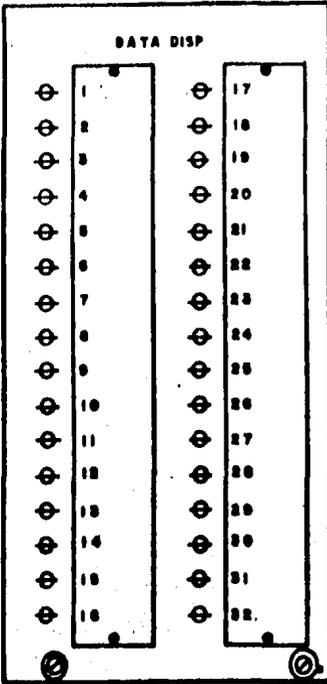


Fig. VII.2.2. Indicador de Datos DATA DISP para Indicación de Alarma Remota.

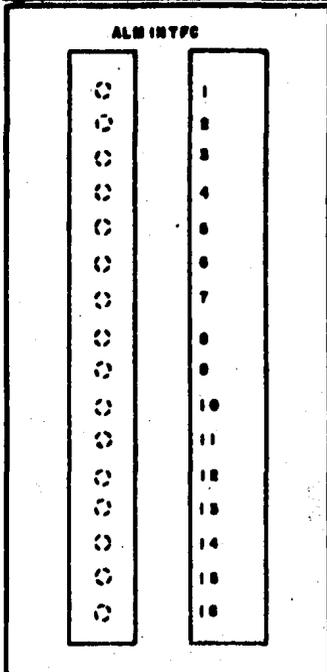
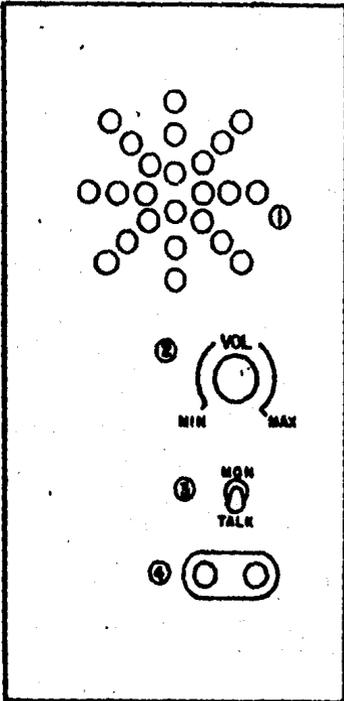


Fig. VII.2.3. Interfaz de Alarma ALM INTFC para Indicación de Alarma Local.



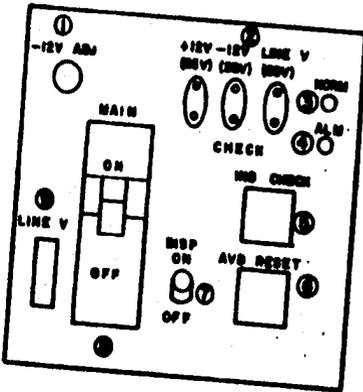
(1).- Altoparlante

(2).- Control de volumen para controlar el sonido de monitoreo

(3).- MON Llave para seleccionar el estado: monitoreo de TALK Altoparlante y conversación.

(4).- Conexión del tubo de mano.

Fig. VII.2.4.- Teléfono TEL.



(1).- Perilla para ajustar el voltaje -12V.

(2).- Terminal para verificación del voltaje.

(3).- Diodo LED verde para indicar el estado normal.

(4).- Diodo LED roja para indicar el estado anormal.

(5).- Botón para encender todos -- los indicadores.

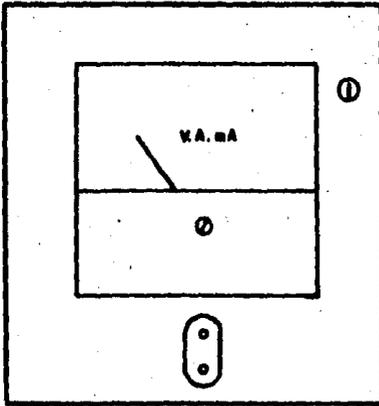
(6).- Botón para liberar el sonido del zumbador.

(7).- Llave para poner el panel Indicador al modo de exhibición o no.

(8).- MAIN Conmutador principal de alimentación.

(9).- LINE Fusible auxiliar de alimentación.

Fig. VII.2.5.- Unidad de Fuente de Alimentación PS.



(1) Medidor.

Fig. VII.2.6.- Unidad de Medidor.

- (1).- POLL ABNL: Diodo LED Rojo.

Se enciende cuando no ha podido enviarse el código de llamada desde la estación maestra a la estación supervisada.

- (2).- CRC NG: Diodo LED Rojo

Se enciende momentáneamente si el dato CRC recibido no está bueno.

- (3).- ABNL END: Diodo LED Rojo

Se enciende momentáneamente cuando la estructura del dato recibido es anormal.

Se enciende cuando la longitud de cuadro de inicio es menor de 15.5 bits ó mayor que 16.5 bits.

o cuando no existe el bitio de inicio o de parada.

- (4).- DISP DATA: Diodo LED Verde

Indica que los datos son enviados a los paneles indicadores. Se encienden en forma pálida ya que la velocidad de transferencia de los datos es alta.

- (5).- Alarma del reloj CLK ALM: Diodo LED Rojo. Se enciende cuando se detiene el oscilador de reloj en la unidad SI DEC.

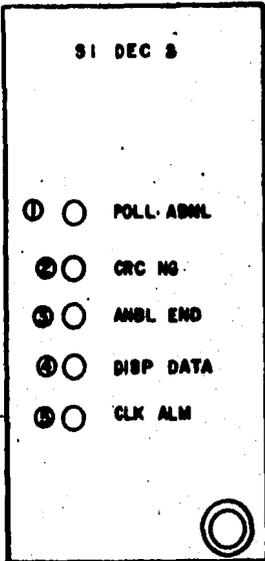


Fig. VII.2.7.- Decodificador de Supervisión SI DEC 2.

(1).- Estación 1 a 64 diodo LED -  
verde indica el número de la  
estación supervisada llamada  
por medio de código binario.

SI DEC 3	ESTACION							No. de estación supervisora.
ESTACION	1	2	4	8	16	32	64	
1 ○	x	x	x	x	x	x	x	No. 1
	o	x	x	x	x	x	x	No. 2
2 ○	x	o	x	x	x	x	x	No. 3
	o	o	x	x	x	x	x	No. 4
4 ○								
8 ○								
16 ○	o	o	o	o	o	o	o	
32 ○								
64 ○								

Fig. VII.2.8.- Decodificador de Supervisión SI DEC 3.



(1).- Diodo LED verde que se enciende cuando la frecuencia de entrada es FX (frecuencia BAJA) y entrada es FA (frecuencia ALTA).

(2).- Diodo LED verde que enciende cuando la portadora es recibida, y no se enciende cuando el nivel de la portadora es de -10 a -15 dB más bajo que el nivel normal.

(3).- Diodo LED rojo que se enciende cuando se detiene el oscilador a cristal.

Fig. VII.2.9.- Receptor FSK de 200 baudios 200 FS RX.

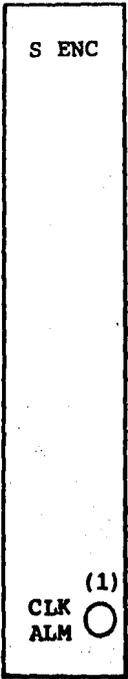


(1).- Diodo LED verde que se enciende cuando la frecuencia de salida es FX (frecuencia BAJA) y no se enciende cuando la frecuencia de salida es FA (frecuencia ALTA).

(2).- Diodo LED verde que se enciende cuando la portadora es enviada.

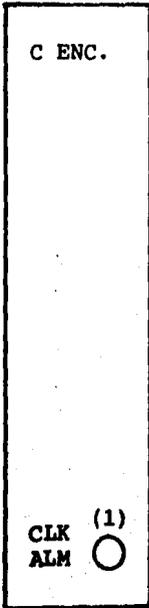
(3).- Diodo LED rojo que se enciende cuando el oscilador a cristal es interrumpido.

Fig. VII.2.10.- Transmisor FSK de 200 baudios 200 FS TX.



(1).- Diodo LED rojo que se enciende cuando se detiene el oscilador a cristal.

Fig. VII.2.11.- Codificador de Datos de Supervisión S ENC.



(1).- Diodo LED rojo que se enciende cuando se detiene el oscilador a cristal.

Fig. VII.2.12.- Codificador de Datos de Control C ENC.



(1).- Diodo LED verde que indica si se está usando el canal de trabajo en la línea de recepción.

(2).- Diodo LED verde que indica si se está usando el canal de protección en la línea de recepción.

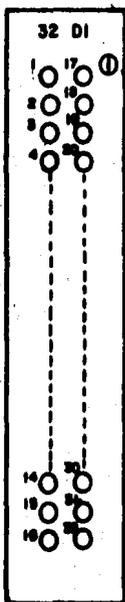
(3).- Conmutador manual para la selección de la línea de recepción.

REG. . . . . para el canal de trabajo.

NORM. . . . . Para el control remoto.

PROT. . . . . para el canal de protección.

Fig. VII.2.13.- Repetidor de Canal de Servicio SC REP. 1.



(1).- Diodo LED rojo que indica si cada entrada de alarma se encuentra en el estado de alarma o no.

En el caso del 32DI 1,2 (Grupo 01, 02) no viene equipado con este diodo LED.

Fig. VII.2.14.- 32 Entradas de Datos 32 DI.

VII.3.- MANTENIMIENTO.

VII.3.1.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Esta sección describe el mantenimiento preventivo y las inspecciones del sistema de supervisión y de control que son efectuados para evitar la acumulación de fallas en el sistema y equipos.

Cuando se finalicen estas inspecciones en base a sistemas, se debe proceder con las verificaciones de mantenimiento en base a cada equipo, para completar el servicio global de mantenimiento.

PROGRAMA DE INSPECCION RECOMENDADO.

La Tabla VII.6., indica el programa de inspección - recomendado:

TABLA VII.6.

No.	Item de Inspeccion.	Intervalo.
1	Verificación del estado operacional.	Una vez todos los días (para una estación atendida). Una vez cada 6 meses (para una estación no atendida).
2	Prueba de conversación por la Línea de Ordenes.	Una vez cada 6 meses.
3	Verificación de la supervisión remota.	Una vez cada 6 meses.

DESPACHO DE TECNICOS DE MANTENIMIENTO.

Enviar a técnicos de mantenimiento a las estaciones remotas no atendidas, para realizar las inspecciones en base del sistema completo.

Las siguientes tablas dan las instrucciones para la verificación e inspecciones de mantenimiento preventivo para los sistemas de supervisión y de control en servicio.

- (1) Verificación del estado operacional. .... TABLA VII.7.
- (2) Prueba de conversación por la línea de órdenes. .... TABLA VII.8.
- (3) Verificación de la supervisión remota. .... TABLA VII.9.

Realizar las verificaciones de acuerdo a las -  
Tablas VII.7 a VII.9.

TABLA VII.7.

VERIFICACION DEL ESTADO OPERACIONAL.

La Tabla VII.7 provee el procedimiento de verificación e inspección visuales para determinar el estado operacional del Equipo de Supervisión y de Control MAR.

PASO

PROCEDIMIENTO.

1 En cada estación, observar que el diodo LED NORM en la unidad de Fuente de Alimentación PS está encendido y - el diodo LED ALM está apagado.

Acción: Si el diodo LED ALM está encendido en vez -- del NORM, proceder a la sección para la localización de fallas de la alarma de alimentación.

2 Presionar el botón de presión IND CHECK en la unidad de Fuente de Alimentación PS de cada equipo y verificar - que se encienden los diodos LED asociados.

Acción: Si hay algunos diodos LED que no se encienden por la operación de conmutador de botón de presión IND CHECK, reemplazar el diodo -- LED por uno nuevo.

Si no se enciende el diodo LED, verificar el botón de presión IND CHECK y el circuito conectado.

TABLA VII.8

PRUEBA DE CONVERSACION POR  
LA LINEA DE ORDENES.

Esta Tabla cubre las verificaciones operacionales -  
del teléfono de línea de órdenes en el equipo de Supervisión y de  
Control NAR.

PASO

PROCEDIMIENTO.

- 1 En la estación maestra, insertar el tubo de mano al -  
jack TEL SET de la unidad telefónica TEL y poner el -  
conmutador TALK a la posición de arriba.
- 2 Llamar a una estación distante.  
El alto parlante de la unidad TEL deberá sonar en to-  
das las estaciones conectadas.
- 3 En la estación llamada, insertar el tubo de mano al -  
jack TEL SET en la unidad TEL y poner el conmutador -  
TALK a la posición de arriba.  
Contestar la llamada por el tubo de mano.
- 4 Verificar que el altoparlante quede cortado en la es-  
tación llamada.

PASO

PROCEDIMIENTO.

5 Verificar que la conversación normal puede llevarse a cabo entre la estación llamadora y la estación llamada.

Nota : El volumen puede ser controlado desde el mínimo al máximo girando el control VOL.

Acción: Si se encuentra cualquier falla en los pasos arriba indicados, proceder a la sección de localización de fallas de la función de línea de órdenes.

TABLA VII.9.

VERIFICACION DE LA SUPERVISION REMOTA.

La Tabla VII.9 cubre la verificación operacional de las funciones de supervisión remota del equipo de Supervisión y de Control NAR.

PASO

PROCEDIMIENTO.

- 1 En la estación maestra, poner el conmutador DISP de la unidad de Fuente de Alimentación PS de cada equipo de Su pervisión y de Control NAR a la posición de arriba.
- 2 En la estación supervisada simular temporalmente una falla en el ítem No. 1 de supervisión remota por la operación manual.
- 3 Observar que el diodo LED asociado STA ALM destella en la unidad Indicadora de Estación STATION DISP. y que sue na el zumbador en la estación maestra.
- 4 Presionar el botón de presión AUD RESET en la estación maestra para detener el sonido del altoparlante.
- 5 Presionar el botón de presión asociado STA SEL de la uni dad STATION DISP. y verificar que se encienden los dio dos STA SEL y STA ALM de la estación maestra.

PASO

PROCEDIMIENTO.

- 6 Verificar que el diodo LED del ítem de alarma remota - No. 1 se enciende en la unidad Indicadora de Datos DATA DISP. en la estación maestra.
- 7 Retirar el corto-circuito del ítem de supervisión No. 1 en la tarjeta de extensión 8P EXT CARD en la estación supervisada. (Ver el paso 2).
- 8 Verificar que el diodo LED del ítem No. 1 de la alarma remota se apaga en la unidad Indicadora de Datos (DATA DISP) y que el diodo LED STA ALM destella en la unidad Indicadora de Estación (STATION DISP.) en la estación maestra.
- 9 Presionar el botón de presión STA SEL, y verificar que el diodo LED STA ALM se apaga en la estación maestra.
- 10 Presionar el botón de presión RELEASE y verificar que se apaga el diodo LED STA SEL.
- 11 Repetir los pasos del 1 al 10 para todos los ítems de alarma restantes.

Nota: Si el diodo LED SV ALM se enciende o destella, -  
ésto indica falla de codificación de señal o fa-

lla de la línea de transmisión.

En este caso, proceder de acuerdo a la sección de localización de fallas de las funciones de supervisión.

### VII.3.2.- MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Esta sección provee los procedimientos para la localización de fallas para el sistema de Supervisión y de Control de la serie NAR-500.

El procedimiento de localización de fallas se da en forma de tablas o diagramas de flujo para permitir la ubicación de las fallas en el sistema y contiene información para aislar - las fallas vinculadas a los equipos de Supervisión y de Control - NAR de aquellos de los equipos asociados.

#### MEDIOS PARA LA LOCALIZACION DE FALLAS.

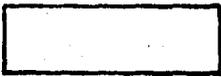
a).- Para una localización efectiva de las fallas, el -- personal de mantenimiento debe entender completamente los principios de operación, las instrucciones de operación y el manteni-- miento de los equipos de la serie NAR-500.

La sección de sistema del manual de los equipos de la serie NAR-500, provee la descripción sistemática de las facili-- dades respectivas que componen el equipo y la sección del equipo, provee los diagramas a bloques y de tiempos de sincronización, -- etc., para conveniencia del entendimiento de la secuencia de ope-

ración del equipo.

b).- Mediciones y/o pruebas que pueden ser necesarias - durante la localización de fallas.

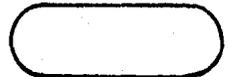
Los símbolos utilizados en el diagrama de flujo para facilitar la localización efectiva de las fallas, están definidos en la figura VII.3.1.



Bloque de instrucción o información.



Bloque de decisión.



Burbuja de referencia



Burbuja de entrada.



Fin de procedimiento.

Fig. VII.3.1.- Símbolos del Diagrama de Flujo.

PROCEDIMIENTO DE LOCALIZACION DE FALLAS

FALLAS DE LAS FACILIDADES DE LINEA DE ORDENES.

El procedimiento del análisis de las fallas para las facilidades de línea de órdenes se muestra en la figura VII.3.2.

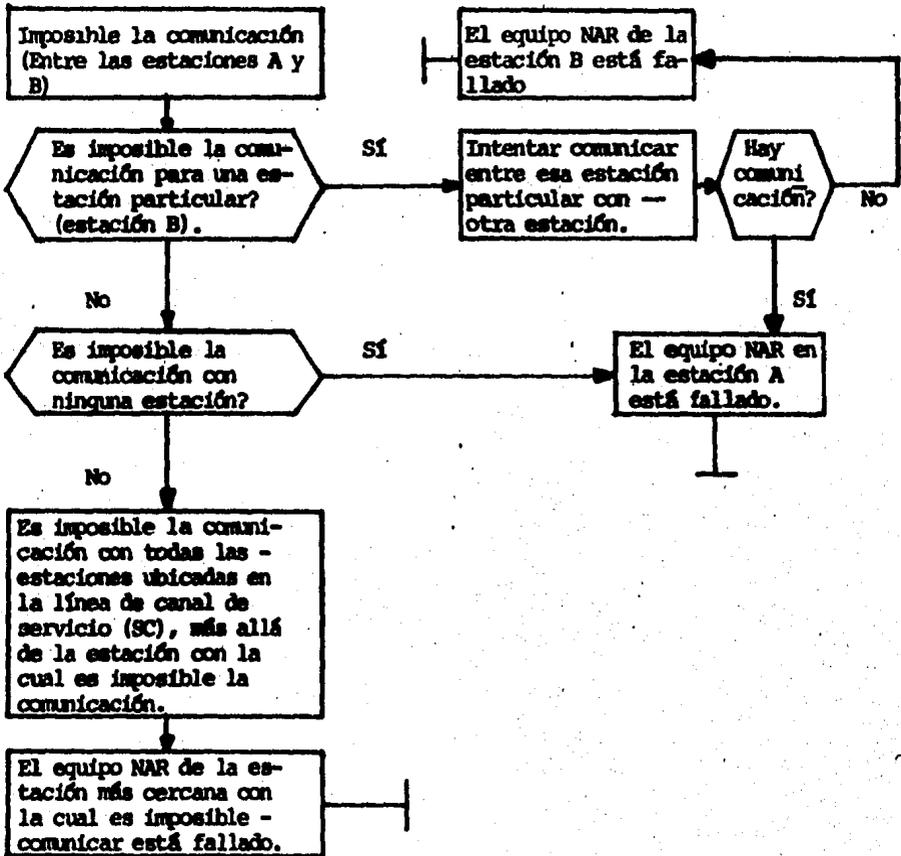


Fig. VII.3.2.- FACILIDADES DE LINEA DE ORDENES.

FALLAS DE LAS FACILIDADES DE SUPERVISION.

CUANDO OCURRE CUALQUIER FALLA, ESTA DEBE PRIMERO SER AISLADA EN UN EQUIPO COMO SE MUESTRA EN LA FIG. VII.3.3.

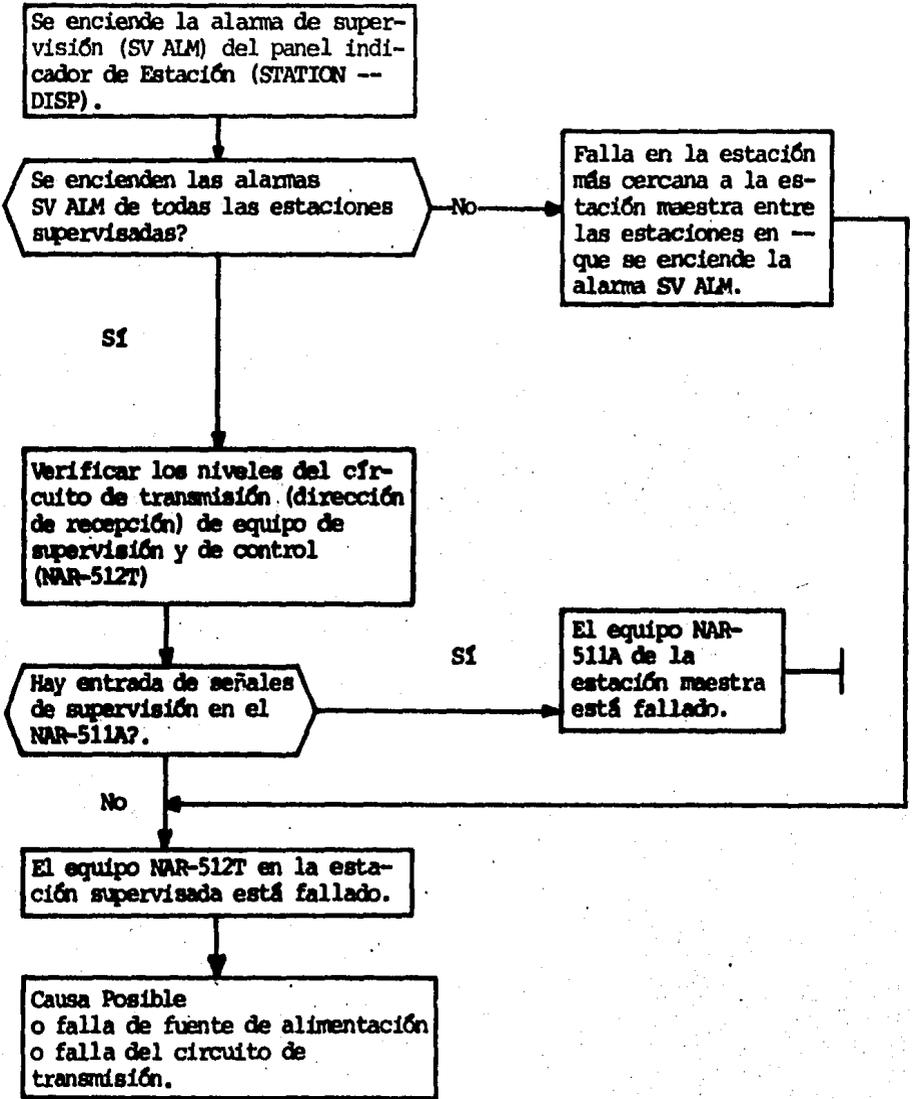


Fig. VII.3.3.- Falla de la Señal de Supervisión.

VIII.- COSTO Y CONCLUSIONES.

VIII.1.- COSTO DE LA RED DE SUPERVISION  
Y CONTROL.

El costo de la red de supervisión y control propuesta está determinado en base a la cotización de la moneda nacional respecto al dolar (E.U.A.) durante el año 1984.

VIII.1.1.- COSTO DE UNA ESTACION  
MAESTRA.

EQUIPO	DESCRIPCION.	COSTO.
NAR-511A	Estación de supervisión maestra/ equipo sub-maestro para decodifi- cación de datos de supervisión/ codificador de ordenes de con-- trol.	\$ 1'805.697.00
NAR-511D	Estación de supervisión maestra/ equipo sub-maestro para supervi- sión e indicación de datos de -- control/indicación de transporte a la estación maestra.	\$ 819,564.00

EQUIPO	DESCRIPCION.	COSTO.
NAR-512T	Equipo de supervisión esclavo - para estación terminal.	\$ 1'851,683.00
NAS-501.	Módulo de servicio. (equipo telefónico)	\$ 438,395.00
390-MM	Módulo de conexiones.	\$ 250,336.00
PDB/IDB	Unidad de distribución de potencia.	\$ 403,651.00
	Panel de accesorios.	\$ 2'738,694.00
	Equipo de mantenimiento.	\$ 148,176.00
	Manual de operación y servicio.	<u>\$ 100,146.00</u>
	<b>TOTAL:</b>	<b>\$ 8'556,342.00</b>

VIII.1.2.- COSTO DE UNA ESTACION  
SUB-MAESTRA.

EQUIPO.	DESCRIPCION.	COSTO.
NAR-511A	Estación de supervisión maestra/ equipo sub-maestro para decodifi- cación de datos de supervisión/ codificador de ordenes de con- trol.	\$ 1'805,697.00
NAR-511D	Estación de supervisión maestra/ equipo sub-maestro para supervi- sión e indicación de datos de -- control/indicación de transporte a la estación maestra.	\$ 819,564.00
NAR-512T	Equipo de supervisión esclavo pa- ra estación terminal.	\$ 1,851,683.00
NAS-501	Módulo de servicio. (Equipo telefónico).	\$ 438,395.00
390-MM	Módulo de conexiones.	\$ 250,336.00
PDB/IDB	Unidad de distribución de poten- cia.	\$ 403,651.00

EQUIPO	DESCRIPCION.	COSTO.
	Manual de operaciones y servicio.	<u>\$ 100,146.00</u>
	TOTAL:	\$ 5'669,472.00

VIII.1.3.- COSTO DE UNA ESTACION ESCLAVA  
TERMINAL.

EQUIPO	DESCRIPCION.	COSTO.
NAR-512T	Equipo de supervisión esclavo - para estación terminal.	\$ 1'851,683.00
NAS-501	Módulo de servicio. (Equipo Telefónico).	\$ 438,395.00
	Manual de operación y servicio.	<u>\$ 100,146.00</u>
	TOTAL:	\$ 2'390,224.00

VIII.1.4.- COSTO DE UNA ESTACION ESCLAVA  
REPETIDORA.

EQUIPO.	DESCRIPCION.	COSTO.
NAR-512R	Equipo de supervisión esclavo pa ra estación repetidora.	\$ 1'937,522.00
NAS-501	Módulo de servicio. (Equipo telefónico).	\$ 438,395.00
	Manual de operación y servicio.	<u>\$ 100,146.00</u>
	TOTAL:	\$ 2'476,063.00

VIII.1.5.- COSTO TOTAL DE LA RED DE SUPERVISION Y CONTROL.

Como la red de supervisión y control consta de:

- 1 Estación Maestra	\$ 8'556,342.00
- 1 Estación Sub-maestra.	\$ 5'669,472.00
- 13 Estación Esclava Repetidora.	\$32'188,819.00
- 7 Estación Esclava Terminal.	<u>\$16'731,568.00</u>
TOTAL:	\$63'146,201.00

C O N C L U S I O N.

De lo expuesto anteriormente podemos notar el papel tan importante que desempeña un sistema de supervisión y control en una red de microondas, por lo que existe la necesidad imperiosa de contar con personal capacitado para operar debidamente y en su momento dar el mantenimiento preventivo o correctivo según se requiera, adecuado a los equipos involucrados dentro de un sistema de comunicación, ya que la confiabilidad del sistema debe mantenerse dentro de las normas especificadas por el C.C.I.R., y -- gran parte de la rentabilidad del sistema recae en los equipos de supervisión y control.

De aquí que se requiera contar con personal que entienda los fenómenos de propagación de las microondas, las técnicas de modulación y códigos empleados por el equipo del sistema de comunicación y en particular del equipo de supervisión y control, del costo y de las facilidades de supervisión y control que otorga el equipo y de las diversas aplicaciones que puede tener, para de esta manera poder tomar una mejor decisión acerca de que tipo de equipo se debe emplear, en donde se debe instalar, etc., ya que todos estos factores influyen para obtener una alta confiabilidad de operación y una gran rentabilidad del sistema en general.

A P E N D I C E "A".

MULTICANALIZACION POR DIVISION DE FRECUENCIA.

A menudo se desea transmitir varios mensajes con facilidad de transmisión sobre un canal de comunicación único. Un proceso mediante el cual dicha transmisión puede lograrse es conocido como Multicanalización por División de Frecuencia.

El principio de la FDM se ilustra en la figura - - A.1.a, en donde varios mensajes de entrada (se muestran tres) modulan en forma individual a las subportadoras  $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$ , etc., después de que pasan a través de filtros pasabajas para limitar los anchos de banda de mensaje. Se muestra la modulación de subportadora como SSB, y a menudo así es; pero se puede emplear cualquiera de las técnicas de modulación de CW, o una combinación de - - ellas. Luego se suman las señales moduladas para producir la señal de banda base, con espectro  $X_b(f)$ , como se muestra en la figura A.1.b. (La designación "banda base" se emplea aquí para indicar que la modulación final de portador aún no ha tenido lugar).

Suponiendo que se escogen en forma apropiada las -- frecuencias subportadoras, la operación multicanalización asigna

una ranura en el dominio de la frecuencia para cada uno de los mensajes en forma modulada; de ahí el nombre de Multicanalización por División en Frecuencia. La señal de banda base puede después ser transmitida en forma directa o empleada para modular una portadora transmitida de frecuencia  $f_c$ . No existe aquí un interés particular en relación con la naturaleza de la modulación final de portadora, puesto que el espectro de la banda base es el importante.

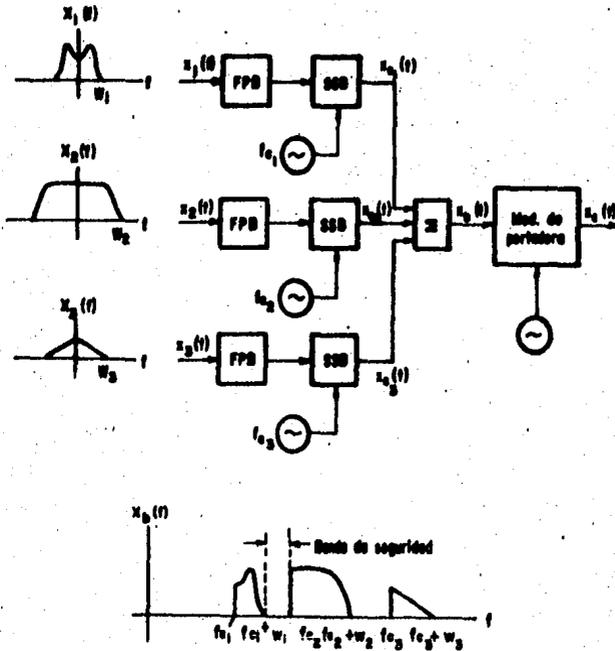


Fig. A.1.- Multicanalización por División de Frecuencia.  
a).- Diagrama a Bloques.  
b).- Espectro de Banda Base.

La recuperación del mensaje o la demodulación de FDM se hace en tres pasos. Primero, el demodulador de portadora reproduce la señal de banda base  $X_b(t)$ . Luego se separan las subportadoras moduladas por medio de un banco de filtros pasabanda - en paralelo, y en seguida se detectan cada uno de los mensajes, - como se ilustra en la figura A.2.

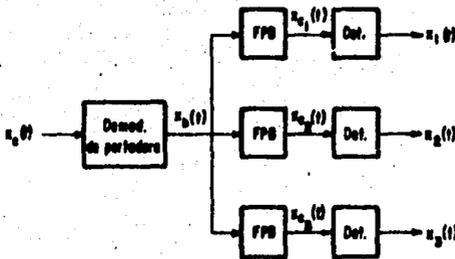


Fig. A.2.- Receptor de Multicanalización por División de Frecuencia.

El principal problema práctico en la FDM es la diafonía, la indeseable unión de un mensaje con otro. La diafonía - inteligible (modulación cruzada) aparece principalmente por las - no linealidades del sistema, lo cual ocasiona que una señal de --

mensaje module en forma parcial a otra subportadora. En la misma forma, la diafonía ininteligible ocasiona disturbios por la imperfecta separación espectral en el banco de filtros. Para reducir esta unión o acoplamiento, los espectros de mensaje modulados se separan en frecuencia por medio de banda de seguridad en las que se pueden distribuir las regiones de transición de los filtros. Por ejemplo, la banda de seguridad entre  $X_{c1}(f)$  y  $X_{c2}(f)$  en la figura A.1.b, es del ancho  $f_{c2} - (f_{c1} + W_1)$ . El ancho de banda de la banda base neto es, por lo tanto, la suma de los anchos de banda de mensaje modulados más las bandas de seguridad.

No obstante que los conceptos relativos a la FDM son muy sencillos, los sistemas típicos pueden ser muy elaborados. Un caso es el sistema de portadora tipo L4 de la Bel Telephone, en el cual se multicanalizan juntos 3 600 canales de voz (cada uno con  $W = 4$  kHz en forma nominal) para transmisión por cable coaxial. Toda la modulación es en banda lateral única, tanto USSB como LSSB, y el espectro de banda base final va de 0.5 a 17.5 MHz, incluyendo la portadora piloto y las bandas de seguridad. Todas las subportadoras son múltiplos de 4 kHz y se derivan de un oscilador común, y la frecuencia piloto de 512 kHz proporciona la sincronización. Para evitar un excesivo ancho de la banda de seguridad en el extremo superior del espectro de banda ba-

se, se hace la multicanalización por grupos en cuatro etapas, un arreglo que también facilita la conmutación y el "enrutamiento" de los diferentes canales.

A P E N D I C E "B".

MULTICANALIZACION POR DIVISION EN TIEMPO.

La multicanalización por división en tiempo (TDM) - es una técnica para transmitir varios mensajes con facilidad, dividiendo el dominio del tiempo en ranuras, una para cada mensaje.

La esencia de la multicanalización por división en tiempo es muy sencilla, como se ilustra en la figura B.1. Las diferentes señales de entrada, todas de banda limitada en  $W$  por los filtros pasabajas de entrada, están muestreadas en forma secuencial en el transmisor por medio de un interruptor rotatorio o conmutador. El interruptor efectúa una revolución completa en - - -  $T_S \ll 1/2W$ , extrayendo una muestra de cada entrada. Por lo que, - la salida del conmutador es una forma de onda de modulación en amplitud de pulsos que contiene las muestras individuales de mensaje entrelazadas en forma periódica en el tiempo. Si hay  $M$  entradas, el espaciamiento entre pulsos es  $T_S/M = 1/Mf_S$ , mientras que el espaciamiento entre muestras sucesivas de una entrada cualquiera es, por supuesto,  $T_S$ . A un conjunto de pulsos formado de una muestra de cada entrada, se le designa un cuadro.

En el receptor, un interruptor rotatorio similar, -

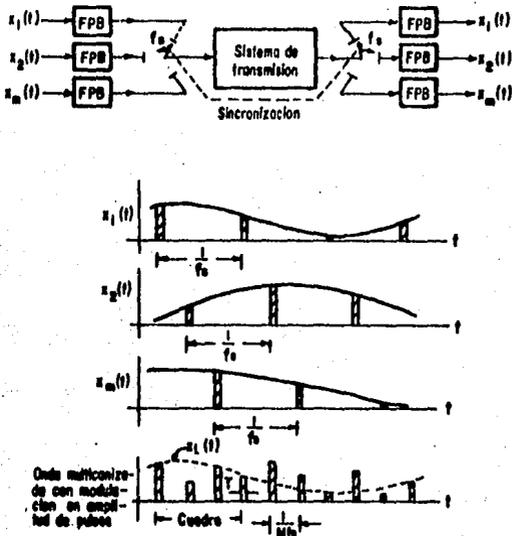


Fig. B.1.- Sistema de Multicanalización por División de Tiempo.  
a).- Diagrama a Bloques.  
b).- Formas de Onda.

el deconmutador o distribuidor, separa las muestras y las distribuye a un banco de filtros pasabajas, el cual a su vez reconstruye los mensajes originales. La acción de conmutación es, por lo general, electrónica, y se proporciona sincronización a las señales para mantener al distribuidor acorde con el conmutador. En efecto, la sincronización es quizá el aspecto más crítico de la multicanalización por división en tiempo.

Dentro de esta armazón, son muchas las variedades de sistemas de división en tiempo que involucran tanto la modulación pulsada como de CW, y muchas las combinaciones de modulación de subportadora y portadora en los sistemas de división de frecuencia. Los valores muestra entrelazados se pueden convertir en forma directa a modulación en duración de pulsos, por posición de pulsos, o por pulsos codificados y transmitidos con o sin modulación de portadora. En efecto, es la modulación por pulsos codificados multicanalizada por división en tiempo, la que más promete para emplearse en telefonía. Para propósitos de reducción de ruido, la modulación en posición de pulsos en AM, la modulación por pulsos codificados en FM, etc., resultan particularmente atractivas. Pero antes de entrar en detalles, haremos una pausa para comparar ambos métodos de multicanalización.

Es obvio que la multicanalización por división en -

tiempo y por división de frecuencia buscan los mismos objetivos, aunque los medios sean diferentes. Además, a ambas se les puede calificar como técnicas duales; porque en la multicanalización por división en tiempo las señales están separadas en el dominio del tiempo, pero mezcladas en frecuencia, mientras que en la multicanalización por división en frecuencia las señales están separadas en el dominio de la frecuencia pero mezcladas en tiempo. Por lo tanto, es razonable preguntarse qué ventajas, si existen algunas, ofrece la multicanalización por división en tiempo en comparación con la multicanalización por división en frecuencia. Desde el punto de vista teórico, ninguna. Desde el punto de vista práctico, la multicanalización por división en tiempo puede ser superior en dos aspectos:

Primero, la instrumentación de este sistema es un poco más sencilla. Recuérdese que la multicanalización por división en frecuencia requiere moduladores de subportadora, filtros pasabanda y demoduladores para cada canal de mensajes; todos éstos quedan reemplazados por el conmutador y el distribuidor de la multicanalización por división en tiempo. Y la sincronización en la multicanalización por división en tiempo es ligeramente más exigente que en la multicanalización por división en frecuencia con modulación de portadora suprimida.

Segundo, e igual de importante, la multicanaliza--  
ción por división en tiempo es invulnerable a las fuentes usuales  
de diafonía intercanal de la multicanalización por división en --  
frecuencia; es decir, al filtraje imperfecto de canal y a la modu  
lación cruzada debidos a las no linealidades. En efecto, no exist  
te diafonía en la multicanalización por división en tiempo si los  
pulsos están aislados en forma completa y no se traslapan, puesto  
que la separación de los mensajes la da la deconmutación o selec  
ción en tiempo, más que el filtraje. Por lo tanto, la inmunidad\_  
a la diafonía de la multicanalización por división en tiempo es -  
contingente con una respuesta de banda ancha y ausencia de distor  
sión por corrimiento de fase (retardo), manteniendo los pulsos --  
cortos y confinados. (Nótese que la distorsión de fase no origi  
na diafonía en la multicanalización por división en frecuencia).

Las formas reales de los pulsos con colas que de  
caen, tienden a traslaparse. Sin embargo, la diafonía resultante  
se puede reducir en forma efectiva dando tiempos de seguridad en  
tre pulsos, análogos a las bandas de seguridad de la multicanali  
zación por división en frecuencia. Así, un sistema práctico de -  
división de tiempo tendrá tantos tiempos como bandas de seguridad  
los primeros para suprimir la diafonía, y las últimas para facili  
tar la reconstrucción de mensajes con filtros prácticos.

A P E N D I C E "C".

RECOMENDACION 401-2.  
C. C. I. R.

FRECUENCIAS Y EXCURSIONES DE FRECUENCIA DE LAS SEÑALES PILOTO DE CONTINUIDAD EN LOS - SISTEMAS DE REPETIDORES DE MODULACION DE - FRECUENCIA PARA TELEVISION Y TELEFONIA.

CONSIDERANDO:

a).- Que en los sistemas de repetidores se necesitan señales piloto especiales para indicar la continuidad del circuito.

b).- Que estas señales piloto deberían estar situadas fuera de la banda de frecuencias ocupada por las señales de telefonía o de televisión.

c).- Que comunmente conviene una frecuencia un 10% superior, aproximadamente, a la frecuencia más alta de la banda base transmitida, según la reducción de nivel deseado.

d).- Que para determinar la frecuencia límite superior de las señales piloto de continuidad, es necesario tener en cuenta la compatibilidad con las exposiciones de los radiocanales de las características de la banda de paso del equipo.

e).- Que ciertas administraciones desean utilizar - en diversos sistemas de repetidores para telefonía multicanal y - televisión, señales piloto de continuidad de las mismas caracte-- rísticas.

f).- Que para reducir la diafonía inteligible, la - señal piloto de continuidad debería tener, en lo posible, una fre - cuencia de  $(4n-1)$  KHz, siendo  $n$  un número entero.

**RECOMIENDA:**

1.- Que cuando en los sistemas de repetidores para - telefonía con multiplexaje por distribución en frecuencia y tele - visión, se utilice una señal piloto de continuidad situada por en - cima de la banda base, su frecuencia y su excursión de frecuencia sean las indicadas en la Tabla C1.

2.- Que, previo acuerdo entre las administraciones - interesadas, se utilice una señal piloto de continuidad situada - por debajo de la banda base.

(1) Comprendidas las señales piloto y otras frecuen - cías que acaso hayan de transmitirse en la línea.

(2) Previo acuerdo entre las administraciones inte-

resadas, pueden utilizarse otros valores.

(3) Los valores distintos indicados corresponden a los diferentes valores adoptados para la excursión de frecuencia nominal del canal.

(4) Pueden también utilizarse 304 KHz, previo acuerdo entre las administraciones interesadas.

(5) Esta excursión de frecuencia es independiente de la utilización o no de una red de preacentuación en la banda base.

(6) Para asegurar la compatibilidad en caso de utilización alterna con sistemas de repetidores para telefonía de 600 canales y con sistemas de repetidores para televisión.

(7) La frecuencia de 9023 KHz debe utilizarse para asegurar la compatibilidad entre sistemas de repetidores para telefonía de 1800 canales y sistemas repetidores para televisión, o cuando lo requiera el establecimiento de varios canales de modulación sonora.

TABLA C1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS Y EXCURSIONES PARA FRECUENCIAS PILOTO  
EN SISTEMAS DE TELEFONIA Y TELEVISION.

Capacidad del sistema (canales)	Banda de frecuencias ocupada por los canales telefónicos (KHz)	Frecuencias límite de la banda base (KHz) (1)	Frecuencia de la señal piloto de continuidad (K1+2)	Excursión Eficaz de frecuencia (KHz) (2) (5)
24	12 - 108	12 - 108	116 & 119	20
60	12 - 252 60 - 300	12 - 152 60 - 300	304 & 331	25, 50, 100 (3)
120	12 - 552 60 - 552	12 - 552 60 - 552	607 (4)	25, 50, 100 (3)
300	60 - 1300	60 - 1364	1499, 3200(6) u 8500(6)	
600	60 - 2540 64 - 2660	60 - 2792	3200 u 8500	140
960 900	60 - 4028 316 - 4188	60 - 4287	4715 u 8500	140
1260 1200	60 - 5636 60 - 5564 316 - 5564	60 - 5680	6199 8500	100 & 140 140
1800	312 - 8204 316 - 8204	300 - 8248	9023	100
2700	312 - 12388 316 - 12380	308 - 12435	13 627	100
T. V.			8500 9023(7)	140 100

INFORME 787-1 (1978 - 1982)

METODOS DE SUPERVISION Y CONTROL  
PARA REPETIDORES DIGITALES.

ALARMAS:

El radiocanal puede supervisarse mediante:

Alarmas del equipo para equipos individuales o grupos de equipos.

Alarmas e indicaciones del sistema.

Las alarmas del equipo suelen proporcionar indicaciones visuales locales asociadas con el equipo en si, y suelen haber dispositivos que permiten prolongar las alarmas a un punto atendido.

Las alarmas del sistema comprenden alarmas de falla del tráfico y de fallo del radiocanal para el sistema repetidor -- que se prolonga a un punto de control.

INDICACIONES RELACIONADAS CON LA SUPERVISION.

Además de las alarmas del sistema, son necesarias in

dicaciones visuales del estado del equipo de conmutación de protección. Estas indicaciones son necesarias en la estación terminal, donde está instalado el equipo de protección y puede también prolongarse al punto de control de los sistemas repetidores.

#### CANALES DE SERVICIO.

Las propuestas para proporcionar canales de servicio con el fin de transmitir las señales de supervisión y control son de tres clases:

Transmisión de las señales de supervisión y control insertándolas en la secuencia de impulsos de la señal principal.

Transmisión de la secuencia de impulsos separada de la señal principal. Esto entraña una modulación adicional de la portadora principal.

Medios de transmisión distintos del trayecto principal de las señales.

Para supervisar y controlar las estaciones repetidoras intermedias, la inserción y detección de la señal de supervisión y control deben efectuarse en cada estación. La capacidad re

querida del canal de servicio dentro de la banda será función del número de señales de supervisión y control, su velocidad de transmisión y el número de circuitos de voz. Estos factores dependerán de los aspectos de diseño de sistemas derivados de las técnicas de servicio y criterios de la administración interesada. La capacidad así requerida sería un factor para determinar cuál de los métodos sería más apropiado adoptar.

El segundo método puede resultar idóneo en algunos casos para la transmisión de señales de supervisión y control de baja capacidad. En particular se ha utilizado la modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) o la MF de la portadora principal.

TABLA I.6.1.- INTERCONEXION EN LAS FRECUENCIAS DE BANDA BASE REC. 280-3

No. de Canales telefónicos.	Límites de banda ocupado por un canal telefónico	Límite de frecuencia banda base (KHZ)	Impedancia nominal en la banda base (OHMS)	Nivel relativo de potencia por canal (dbr)		
				Salida del equipo de radio	Entrada al equipo de radio	
60	60 - 300	60 - 300	75	desequilibrados*	-15	-45
120	60 - 552	60 - 552	75	"	-15	-45
300	60 - 1300	60 - 1364	75	"	-18	-42
600	60 - 2540	60 - 2792	75	"	-20	-45
960	60 - 4028	60 - 4287	75	"	-28	-45
1260	60 - 5636	60 - 5680	75	"	-28	-37
1800	312 - 8204	300 - 8248	75	"	-28	-37
2700	312 - 12388	300 - 12435	75	"	-28	-37

\* EL TERMINO DESEQUILIBRADO HACE LA REFERENCIA A CABLE COAXIAL DONDE EL CONDUCTOR INTERNO ES EL VIVO Y EL CONDUCTOR EXTERNO ES LA TIERRA.

## B I B L I O G R A F I A

MICROWAVE SYSTEM DESIGN.  
HOW TO PLANE AND DESIGN MICROWAVE SYSTEMS.  
GIKEN COMPANY, LTD. TOKYO. 1966.

MICROWAVE SYSTEM DESIGN.  
HIROJI KUROKAWA.  
YO SHINOSUKE OFSUKI.  
TAKASHI MATSUMOTO.  
ED. GIKEN COMPANY, LTD. TOKYO.

MICROWAVE COMMUNICATION.  
S. YANEZAWA.  
N. TANAKA.  
ED. MARUZEN.

PRINCIPLES OF COMMUNICATION SYSTEMS.  
HERBERT TAUB.  
DONALD L. SHILLING.  
ED. MCGRAW-HILL.

INFORMATION, TRANSMISSION, MODULATION AND NOISE.  
MISCHA SCHWARTZ.  
ED. MCGRAW-HILL.

COMMUNICATION SYSTEMS.  
A. BRUCE CARLSON.  
ED. MCGRAW-HILL.

RECOMENDACIONES E INFORMES DEL C. C. I. R. 1982.  
VOL. IX. PARTE 1.

FUNDAMENTOS DE PROPAGACION DE MICROONDAS.  
NOBORU YAMANE.  
ED. SCT.

COMMUNICATION SYSTEMS DESIGN.  
PHILIP F. PANTER.  
ED. MCGRAW-HILL.

ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEMS.  
GEORGE KENNEDY.  
ED. MCGRAW-HILL.

MANUAL DE OPERACION Y SERVICIO DEL EQUIPO DE  
SUPERVISION Y CONTROL DE LA SERIE NAR-500.  
NIPPON ELECTRIC COMPANY (NEC).