



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Eléctrica



"ANALISIS Y PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO
DE LOS SISTEMAS DE RADIO ENLACE IETEL R-2"

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
Especialización: ELECTRONICA

Realizada por:
Santiago Enrique Córdova Polanco

Guayaquil - Ecuador
1989

AGRADECIMIENTO

Al ING. JUAN CARLOS AVILES, Director de Tesis por la decidida e invaluable ayuda brindada a la realización de este trabajo.

Mi reconocimiento al personal de las Divisiones de Operación/Mantenimiento y de Ingeniería del IETEL R-2, por su estímulo que me brindaron para la culminación de mi carrera.

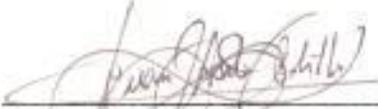
DEDICATORIA

A MIS PADRES

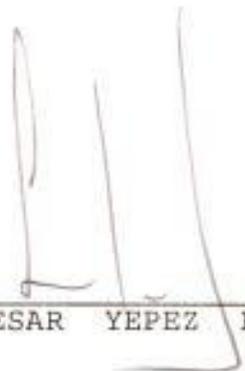
A MI ESPOSA

A MIS HIJOS


ING. JORGE FLORES M.


ING. JUAN CARLOS AVILES C.


ING. PEDRO CARLO P.


ING. CESAR YEPEZ F.

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad de los hechos, ideas, doctrinas expuestas en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).


SANTIAGO CORDOVA POLANCO

RESUMEN

Las telecomunicaciones han alcanzado gran desarrollo en el mundo y por ende en el Ecuador, debido a la rapidez con que se puede enviar información de un lugar a otro. Para que esto ocurra es necesario tener en perfecto estado de funcionamiento los canales de radio enlace que unen los pueblos entre si. De aqui la importancia del conocimiento y aplicación de los principios fundamentales que rigen a un radio enlace, tales como las unidades de medición, tipo de modulación mas frecuentes; factores que afectan las comunicaciones por radio y los parametros fundamentales que a menudo se miden y se ajustan; sumado a esto aparece la necesidad de implantar una planificación adecuada del mantenimiento, tanto preventivo como correctivo para evitar cortes de tráfico telefónico que ocasionaría un deterioro en la calidad del servicio.

INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN:	
INDICE GENERAL	7
INDICE DE ABREVIATURAS	14
INDICE DE FIGURAS	15
INDICE DE TABLAS	20
INTRODUCCION	21
I <u>CONCEPTOS BASICOS</u>	22
1 El decibelio y su utilidad	22
1.2 Definiciones	26
1.2.1 dBm	26
1.2.2 dBr	28
1.2.3 dBm0	32
1.2.4 dBm0p	35
1.2.5 dBu	35
1.3 Correspondencia entre dBm y voltaje, su utilidad	39
1.3.1 Deducción de relación	40
1.3.2 Gráficos de correspondencia	41
1.4 Términos usados para mediciones de ruido	44
1.4.1 Definiciones de pw, pw0, pw0p. .	44
 II <u>METODOS DE MODULACION</u>	
2.1 Sistema de modulación AM.	46
2.1.1 Formación del grupo, supergrup bá sico y Banda Base	50

	PAG.
2.1.2 Grupo Básico	53
2.1.3 El Super grupo básico	54
2.1.4 Banda BAsE para 960 canales ...	55
2.1.5 Frecuencia Piloto y señalización	59
2.2 Modulación exponencial.	64
2.2.1 Modulación de frecuencia	66
2.2.2 Modulación de fase	69
2.2.3 Espectro de la modulación de frecuencia	72
2.2.4 Modulación simultánea con más de una frecuencia.	78
2.3 Efectos del ruido en FM	81
2.3.1 Ruido térmico; factor de ruido	82
2.3.2 Acción del ruido sobre la modulación.	86
2.3.3 Ruido triangular	88
2.3.4 Relación señal - ruido	89
2.3.5 Umbral de mejora FM	92
2.3.6 Ruido de intermodulación no lineal	92
2.3.7 Ruido de intermodulación lineal	93

III FUENTES PRINCIPALES DE DISTURBIOS EN UN RADIO

ENLACE

3.1 Distorsión lineal

3.1.1 Distorsión por atenuación	95
---------------------------------------	----

	PAG.
3.1.2 Distorsión por retardo	95
3.2 Interferencia por señal única	96
3.2.1 Productos de intermodulación y sus armónicas	96
3.2.2 Señales espúreas generadas por las fuentes de energía interna y el transmisor de radio	96
3.2.3 Interferencia entre canales	98
3.3 Ruido térmico en la recepción	101
3.4 Ruido básico en el MODEM y en el equipo de radio	102
3.5 Ruido de intermodulación (RI)	103
3.5.1 RI generado en el MOdem y el equipo de radio	104
3.5.2 RI generado en el sistema de antena por ECO.	108
3.5.3 RI generado por reflexión de las ondas en la tierra.	110
3.5.4 RI inducido por propagación múltiple	113
3.6 Ruido Impulsivo	115
3.7 Otras fuentes de disturbios	115
3.8 Conclusiones	116

IV PARAMETROS FUNDAMENTALES QUE SE MIDEN EN EL
MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACE
TELEFONICO.

	PAG.
4.1 Tipos de pruebas	118
4.2 Pruebas locales	119
4.2.1 Mediciones de niveles y frecuencias de los osciladores locales	119
4.2.2 Mediciones de nivel y frecuencia de los transmisores de RF.	120
4.2.3 Medición de la sensibilidad de los receptores de RF.	121
4.2.4 Prueba de Bessel O.	122
4.2.5 Ajuste de frecuencia del modulador	125
4.2.6 Pruebas y ajustes con el analizador de radio enlace de microondas	126
4.2.7 Pruebas de ruido	132
4.2.8 Pruebas del canal de servicio ..	141
4.3 Pruebas de Tramo	141
4.3.1 Pruebas y ajustes con el analizador de radio enlace de microondas	142
4.3.2 Pruebas de ruido	143
4.3.3 Respuesta de frecuencia.	147
4.4 Mediciones en radio enlace de mediana capacidad y en monocanales	147

V ANALISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN EL CAMPO

✓ 5.1	Configuración del sistema de radio-enlace Guayaquil - Salinas	149
5.2	Análisis de las pruebas locales	150
5.3	Análisis de las pruebas de tramo ...	161
5.4	Conclusiones	168

VI ORGANIZACION ESTRUCTURAL

6.1	Organigrama general	171
6.2	Organigrama Regional	173
6.3	Organigrama de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisiones	175
6.4	Organigrama funcional de la División de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisiones	177
6.5	Funciones de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisiones	179

✓ VII CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS DE RADIO-ENLACE DEL IETEL R-2

7.1	Generalidad	185
7.2	Configuración de los sistemas de microondas	185
7.3	Configuración de los sistemas de mediana capacidad	188
7.4	Configuración de los sistemas de baja capacidad	190

VIII PLANIFICACION ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE RADIO ENLACE Y SUS PROBLEMAS

8.1	Generalidades	191
8.2	Descripción del plan de mantenimiento utilizado	191
8.2.1	Pruebas locales	192
8.2.2	Pruebas de tramo	192
8.3	Problemas que obstaculizan el desarrollo del plan de mantenimiento ..	194
8.3.1	Ubicación de las Estaciones	194
8.3.2	Recursos disponibles	195
8.4	Técnica de Planificación empleada.	196

IX PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO DE LA DIVISION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIONES DEL IETEL R-2

9.1	Generalidades	197
9.2	Medios para solucionar los problemas de Planificación y control	197
9.2.1	Planeación	199
9.2.2	Organización	199
9.2.3	Ejecución	200
9.2.4	Control	200
9.3	Aplicación de la técnica de planificación, programación y control "PERT", al Plan de Mantenimiento	201

	PAG.
9.3.1 Descripción de las actividades	201
9.3.2 Tabla de secuencia de las actividades	206
9.3.3 Cálculos de la técnica PERT	209
9.3.4 Red Pert del Plan de Manteni - miento	211
9.3.5 Su aplicación	214
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	216
BIBLIOGRAFIA	218

INTRODUCCION

Las telecomunicaciones han logrado un gran desarrollo tecnológico, siendo necesario una buena técnica para poder dar mantenimiento a estos sistemas telefónicos.

Dentro de la División de Operación y Mantenimiento del IETEL R-2 existe la necesidad de actualizar estos conocimientos, de aquí entonces que en el presente trabajo se hace una revisión fundamental de los principales conceptos y problemas que existen en un radio enlace. (Esto comprenden unidades básicas de medición), estudio de las características principales en un sistema de radio enlace, sus parametros fundamentales y mediciones tomadas en un radio enlace.

Debido al aumento de los sistemas de radio enlace en esta Región y falta de una adecuada planificación han aumentado los problemas de mantenimiento, se hará un análisis de estos problemas y su posible solución.

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS

1.1 EL DECIBELIO Y SU UTILIDAD

La introducción del decibelio como unidad de medida en las telecomunicaciones es una verdadera revolución, pues cambio totalmente la filosofía de la medición que hasta entonces se tenia en telecomunicación y estaba basada en la tradicional del Ingeniero Electrotécnico. En los circuitos eléctricos la f.e.m., la corriente y la potencia se miden en voltios, amperios y vatios, y los valores dependen del sistema en que se hace la medida; pero, en cambio en las medidas de transmisión y de propagación en las que se utiliza el decibelio, resulta que ésta nueva unidad es independiente del sistema en que se hace la medida, es decir, que se puede utilizar, por ejemplo, lo mismo para una onda acústica que para su equivalente eléctrico. Esto es debido a que el decibelio es un número y, por consiguiente, no tiene dimensiones.

En las medidas eléctricas con amperios o voltios los valores negativos indican un cambio de sentido de la corriente o de la tensión, mientras que el

único significado de los valores negativos de los decibelios es indicar que la potencia medida es inferior a la potencia con la cual se compara.

El decibel es una unidad de medición que expresa la relación logarítmica entre dos valores de potencia. Matemáticamente se lo define como:

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

Donde P_1 es la potencia de entrada y P_2 es la potencia de salida, tal como se muestra en la Figura (1.1).

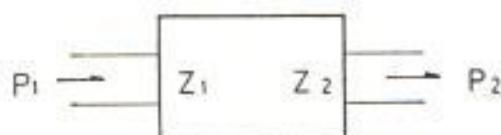


FIGURA 1.1

CUADRIPOLO QUE RELACIONA LAS POTENCIAS P_1 Y P_2

La notación en decibelios es siempre una comparación entre dos valores. Por tanto, hay muchos casos en los que se mide el mismo número de decibelios y, sin embargo, los valores de las potencias no son los mismos. Por ejemplo, si se aumenta la

potencia de un emisor de 1 a 2 Kw el incremento de potencia en decibelios es:

$$N = 10 \log \frac{2}{1} = 3 \text{db} \quad (1.2)$$

Pero, si tenemos un emisor de 5 Kw y aumentamos su potencia a 10 Kw, el incremento de potencia en decibelios es igual que en el caso anterior.

$$N = 10 \log \frac{10}{5} = 10 \log 2 = 3 \text{ db} \quad (1.3)$$

y, sin embargo, todas las potencias son diferentes. Es decir, que cualquiera que sea la potencia, el hecho de hacerla doble equivale siempre a un incremento de 3 dB sobre el valor inicial.

Otra característica especial del decibelio, es el significado del valor cero. En todas las unidades de medida el cero significa la ausencia de la cantidad que se está midiendo, pero en la fórmula:

$$N = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (1.4)$$

N será cero cuando $\frac{P_1}{P_2} = 1$, es decir, cuando las dos potencias que se comparan son iguales. Esto nos lleva a un concepto fundamental en

telecomunicaciones, el nivel de referencia. Si seleccionamos un valor arbitrario de la potencia para representar 0 dBm este valor escogido se denomina NIVEL DE REFERENCIA. Entonces cualquier otro valor de potencia que aparezca en el circuito, se puede expresar un decibelio con respecto a la referencia. Al valor obtenido en decibelios se le suele denominar nivel absoluto de potencia. Esto ha dado lugar a una serie de unidades de medida de potencia derivadas del decibelio.

En general, la inclusión del término NIVEL a una magnitud quiere decir que, se está considerando el logaritmo (con base 10), de un valor de magnitud con respecto a otro valor de la misma especie que se toma como referencia.

Al igual que el concepto de nivel, otro concepto que va ligado íntimamente al empleo del decibelio es el de ganancia o pérdida (de transmisión), que es EL AUMENTO O LA REDUCCION DE LA POTENCIA ENTRE DOS PUNTOS 1 y 2 en los que las potencias son P_1 y P_2 expresado por la relación P_2/P_1 y P_1/P_2 , respectivamente en unidades de transmisión. Por ejemplo, cuando en un circuito se introduce un amplificador, la potencia a la salida es mayor

que la entrada y por lo tanto existe una ganancia; por el contrario, cuando lo que se introduce es un filtro, la potencia de la señal a la entrada es mayor que a la salida y, por consiguiente, se tiene una pérdida.

1.2 DEFINICIONES

Veamos las siguientes definiciones que son fundamentales en las telecomunicaciones.

1.2.1 dBm

La abreviatura dBm indica, por definición, el nivel de potencia absoluto en decibelios con relación a 1 mW. Sirve para indicar la potencia mediante una unidad logarítmica de referencia y para ello se ha tomado el milivatio como nivel de referencia. En realidad, como se tiene un valor de referencia determinado, el dBm es una unidad de medida de potencia y no, como el decibelio, una simple relación de potencias. Prueba de ello es que se pueden convertir fácilmente los valores dados en dBm en valores en vatios.

El dBm viene dado por la relación:

$$X \text{ dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad (1.5)$$

En la que P_1 es la potencia que existe en el punto del circuito en que se hace la medida, y P_2 es 1 mW. Por tanto, si leemos en el aparato de medida un valor de 17 dBm, esto quiere decir que la potencia es de 50 mW; si leemos 20 dBm la potencia será de 100 mW, si leemos -10 dBm la potencia será de 0.1 mW y así sucesivamente. Sin embargo, no hay que olvidar que el dBm es una unidad logarítmica y que, por consiguiente, no se puede utilizar en las operaciones con la misma soltura que se hace con el vatio. Por ejemplo, cuando en un equipo de transmisión por ondas portadoras se miden las potencias de los canales en dBm y se quiere conocer la potencia total aplicada a la línea, no se obtiene esta potencia sumando simplemente los valores de la potencia de los canales medidos en dBm, sino que lo que hay que hacer es transformar los dBm en vatios, suman estos valores obtenidos en vatios y convertir de nuevo a dBm el valor de esta suma obtenida en Vatios. Así, si un sistema tiene cinco canales con una potencia cada uno de + 10 dBm la potencia total que pasará a la línea será de +17 dBm y no de + 50 dBm, tal como se

muestra en la Figura (1.2).



FIGURA 1.2

FORMA CORRECTA DE SUMAR LOS dBm

La mayoría de los medidores de dBm utilizados en telefonía se calibran para un nivel de referencia de 1 mW sobre 600 (que es el valor más común de la impedancia característica de las líneas de transmisión), es decir, que lo que hace es medir tensiones a través de una impedancia de 600 ohmios. En el caso de que la medida se haga sobre una línea cuya impedancia característica sea diferente de 600 ohmios la lectura del aparato habrá que compensarla con el correspondiente factor de corrección.

1.2.2 NIVEL RELATIVO dBr

El enlace más general de transmisión está

constituído de un cierto número de puertos enlazados entre si en cascada. Si existe linealidad en cada uno de ellos, la potencia de salida está ligada a aquella del ingreso. Cabe anotar que, la frecuencia de salida puede estar a frecuencia diferente de la de ingreso, por ejemplo en el caso en que el puerto está unido a un convertidor de frecuencia, la única exigencia requerida es aquella de linealidad entre las dos señales.

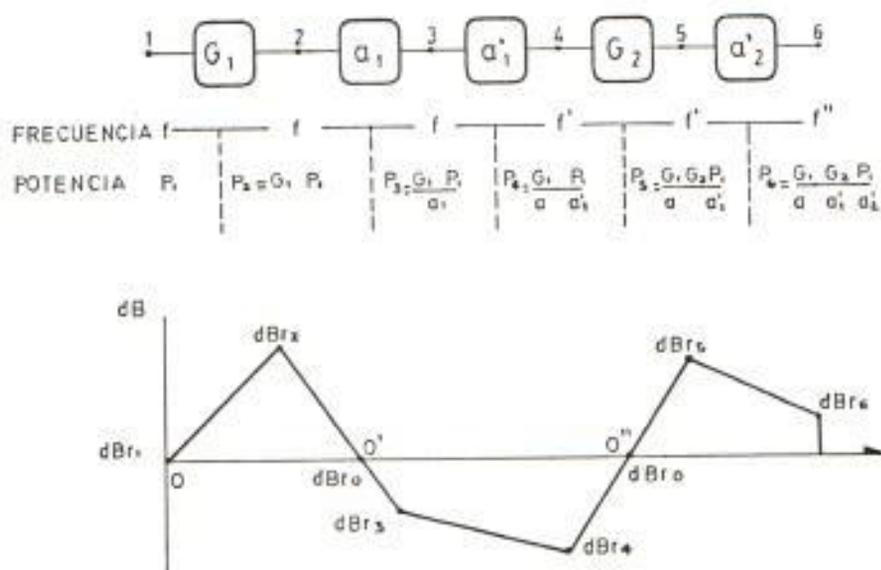


FIGURA 1.3

DIAGRAMA DE BLOQUES CON SUS NIVELES RELATIVOS

En la figura 1.3 está el esquema constituído por un amplificador de ganancia G_1 , atenuador a_1 , convertidor de frecuencia (atenuación) a'_1 al amplificador de ganancia G_2 , convertidor de

frecuencia (atenuación) d_2 y los valores de potencia en cada uno de los puntos de salida de los puertos.

Se tiene en los puntos 1,2,3, ... ,6 de la interconexión los valores P_1, P_2, P_3, P_6 de la potencia, respectivamente. Están además, los valores de las frecuencias diferentes en cada uno de los puntos, así como el trazado del diagrama de niveles.

Resulta evidente que los niveles de potencia están todos rígidamente ligados entre ellos, por lo cual es posible conocer el valor de cualquiera de ellos, en cualquier punto del enlace, siempre y cuando exista un nivel tomando como punto de referencia. En la Figura 1.3, el punto de referencia es el punto 1, en el cual está establecido el valor de potencia P_1 , se tiene ahora que el nivel de los otros puntos, son:

$$dBr_1 = dBr = 0; \quad dBr_2 = 10 \log P_2/P_1 \quad (1.6)$$

$$dBr_3 = 10 \log P_3/P_1; \dots dBr_6 = 10 \log P_6/P_1$$

Están perfectamente definidos e independiente de P_1 .

Entonces el dBr es la relación entre la potencia en cualquier punto de un circuito y la potencia en el origen del circuito. No usa niveles absolutos, sino relativos y es simplemente el efecto neto de todas las ganancias y pérdidas en el circuito, desde el origen al punto especificado, ejemplo:

$$dBr_6 = 10 \log P_6/P_1 = 10 \log \frac{G_1 G_2}{a_1 a_1 a_2} \quad (1.7)$$

De (1.7) observamos que dBr_6 depende de las etapas amplificadoras G_1 G_2 y las etapas atenuadoras a_1 , a_1 y a_2 y no de la potencia P_1 .

En lo que respecta a la interconexión de la Banda Base (B.B.) a los sistema de radio enlace, está dado en dBr y que establecido por el CCIR en las recomendaciones 380-1, así por ejemplo, para 960 canales se tiene como nivel de entrada -45 dBr y salida -20 dBr; estos niveles de potencia son relativos a una potencia de referencia de un tono sinusoidal de 1 mw (nivel cero) a 800 Hz aplicado a un canal telefónico de origen del circuito (la impedancia es en este punto de 600 ohmios).

Si tomamos como nivel de referencia 1 mw entonces coinciden los valores de dBr con los dBm, así por ejemplo, si en la Figura 1.3 hacemos $dBr = 0$ dBm todos los otros niveles dBr coincidirán con los dBm. No se debe confundir los conceptos de potencia y nivel (error común), ya que potencia es una cantidad definida de energía en un período de tiempo especificado; mientras que nivel es la diferencia entre dos potencias expresadas en dB o dBm.

1.2.3 dBm 0

Es un sistema de transmisión, además de la información propiamente dicha, se transmiten otras frecuencias o bandas de frecuencia, algunas de las cuales son útiles (pilotos, tonos, etc.), y algunos otros, tales como interferencia, ruido y diafonía son indeseables. Para poder indicar el nivel de todos estos fenómenos en relación con el nivel relativo de la información, se ha introducido el concepto dBm0.

El dBm0 es la potencia absoluta en dBm, medida con respecto al punto de nivel cero de transmisión (0 dBr).

Refiriéndonos a la Figura 1.3, supongamos una variación de potencia de P_1 , esto va a producir una variación proporcional de la potencia en todos los otros puntos del circuito, en los cuales los valores se obtienen multiplicándolos por la relación P/P_1 , llamando P al nuevo valor de la potencia en el punto 1, se tiene por ejemplo que el nuevo valor de la potencia en el punto 5, será:

$$P'_5 = P_5 \cdot P/P_1 \quad (1.8)$$

en lo cual expresando la potencia en mW:

$$P'_5 / 1 \text{ mW} = P_5/P_1 \cdot P/1 \text{ mW}$$

$$10 \log (P'_5/1\text{mW}) = 10 \log P_5/P_1 + 10 \log (P/1) \quad (1.9)$$

de lo cual el nivel de potencia en el punto cinco, es:

$$/L_5/\text{dBm} = /dBr_5/ + /A^\circ/\text{dBm} \quad (1.10)$$

Esta relación que obviamente se extiende a cualquier punto del circuito dice que, el nivel absoluto de potencia en un punto del circuito es la suma del nivel relativo de tal punto respecto

al inicio (dBr) y el nivel absoluto de potencia de tal punto inicial (dBm0), entonces se puede escribir para cualquier punto.

$$dBm = dBr + dBm0 \quad (1.11)$$

Veamos un ejemplo, si un nivel de -10 dBm es aplicado en un punto de 0 dBr (Figura 1.4), luego en el punto de -22 dBr un nivel de -32 dBm es medido, donde existe un nivel de -10 dBm0.

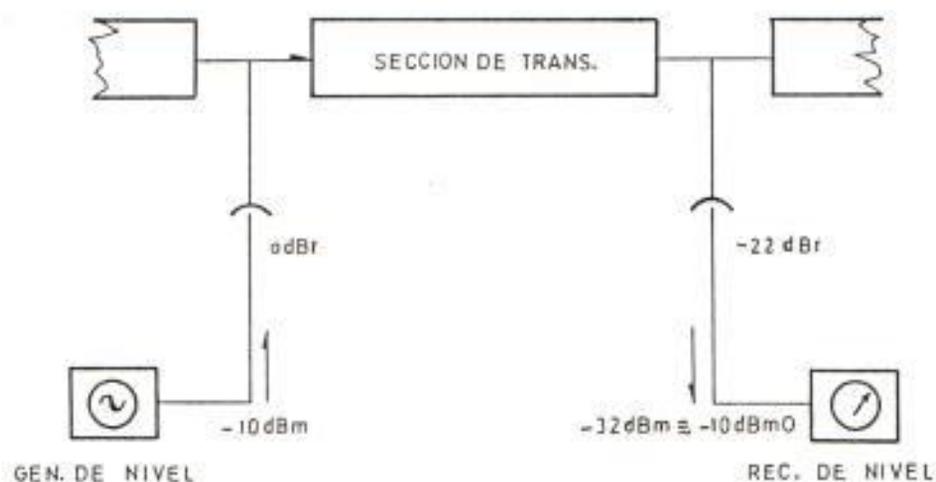


FIGURA 1.4

EJEMPLO DE APLICACION DEL dBm0

En resumen podemos decir que, dBm0 es la diferencia entre dBr y el nivel de la señal en el punto medido.

1.2.4 dBm0p

Indica un nivel de potencia de ruido en un canal telefónico, medido con un sofómetro del CCITT para canales telefónicos. Es decir, que el dBm0p es la potencia absoluta de ruido, compensada sofométricamente y medida con respecto a un punto de nivel cero de transmisión o referida a dicho punto.

1.2.5 dBu

Como sabemos, la relación entre dos potencias P1 y P2 se expresa en dB de la siguiente manera:

$$X = 10 \log P_1/P_2 \quad (1.12)$$

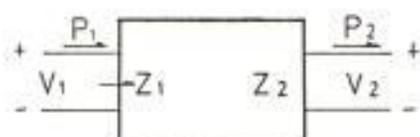


FIGURA 1.5

RELACION ENTRE DOS POTENCIAS

Pero a veces interesa expresar la relación existente entre las tensiones V_1 y V_2 en decibelios (dBu) y está dado por la siguiente relación:

$$\text{dB}_u = 20 \log \frac{V_2}{V_1} \quad (1.13)$$

$$\text{Además } P_1 = \frac{V_1^2}{Z_1}, \quad P_2 = \frac{V_2^2}{Z_2}$$

Podemos expresar la relación de potencia por dBp, en donde dBp son el producto de la relación de dos potencias.

$$\begin{aligned} \text{dBp} &= 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \left(\frac{V_1^2}{Z_1} \cdot \frac{Z_2}{V_2^2} \right) \\ &= 10 \log \frac{V_2^2}{V_1^2} + 10 \log \frac{Z_2}{Z_1} \end{aligned}$$

$$\text{dBp} = 20 \log \frac{V_2}{V_1} + 10 \log \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\text{dBp} = \text{dB}_u + 10 \log \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1.14)$$

En el caso particular en que $Z_2 = Z_1$, ocurre que

$$\text{dBp} = \text{dB}_u \quad (1.15)$$

El nivel de potencia se determina en la técnica de transmisiones midiendo la potencia "indirectamente": en el punto en cuestión se termina con una resistencia, la tensión que aparece en los bornes de la resistencia se observa en un "medidor de nivel", calibrado en nivel de tensión. El valor de la resistencia de terminación deberá coincidir con la impedancia nominal en el punto de medición, el valor más general es de 600 ohm (este valor tiene su origen en las líneas aéreas cuya impedancia imagen apropiada es $550\Omega - 650\Omega$ a causa de su construcción típica).

El nivel de tensión se define en forma apropiada a la práctica: con 600 ohmios, el nivel de potencia y el nivel de tensión tiene el mismo valor. Esto reesulta posible eligiendo como valor de referencia del nivel de tensión, justamente la tensión que aparece en una resistencia de 600 ohm. a la que se aplica 1 mW., tal como se puede observar en la Figura 1.6.

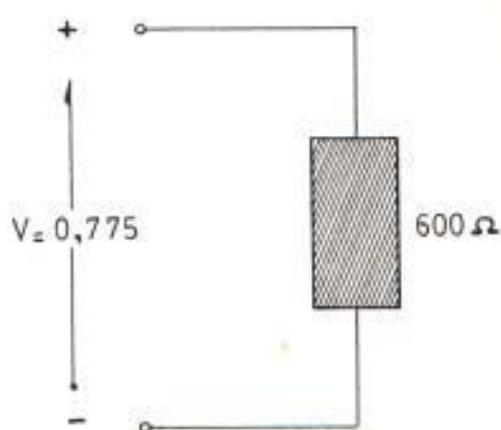


FIGURA 1.6
CIRCUITO DE REFERENCIA

Definición

$$\text{NIVEL DE TENSION } L_u = 20 \log \frac{V}{775 \text{ mV}} \quad (1.16)$$

Pero si la impedancia es diferente de 600 ohm., entonces se tiene que añadir un factor de corrección K y para obtener el nivel de potencia se tendría que aplicar la relación (1.14).

$$\text{NIVEL DE POTENCIA} = \text{NIVEL DE TENSION} + K \quad (1.17)$$

Donde K puede calcularse fácilmente según la siguiente fórmula:

$$K = 10 \log \frac{600 \text{ ohm}}{Z} \text{ dB} \quad (1.18)$$

$Z =$ impedancia en OHM

en la tabla (I), se recopilan los valores de K para algunos valores corrientes de impedancias:

Z(OHM)	600	300	150	75	60
K(dB)	0	3	6	9	10

TABLA I

FACTORES DE CORRECCION PARA DIFERENTES IMPEDANCIAS

1.3 CORRESPONDENCIA ENTRE dBm y VOLTAJE, SU UTILIDAD

Con mucha frecuencia en el trabajo del campo se hace necesario hacer conversiones entre si de potencia, dBm y voltaje, teniendo en cuenta su respectiva impedancia (50 ó 75 ohmios son las impedancias más comúnmente utilizadas), esto se debe por ejemplo a que la entrada máxima de nivel de un equipo de medición está dada en voltaje y el nivel que se le va a colocar está dado en dBm ó vatios, haciéndose necesaria una conversión a voltaje para ver si no excede el límite máximo de protección del equipo, caso contrario habrá que introducir atenuación para evitar dañar el

equipo (los equipos de medición utilizados en los sistemas de radio enlace son muy costosos). En la práctica podemos hacer estas conversiones en calculadoras programables con memoria continua, en la que se colocará las respectivas relaciones de correspondencia.

1.3.1 DEDUCCION DE RELACIONES

De potencia a dBm

$$x \text{ dBm} = 10 \text{ LOG } \frac{P}{1 \text{ mW}} \quad (1.19)$$

De dBm a Potencia

$$x \text{ dBm} = 10 \text{ LOG } \frac{P}{1 \text{ mW}}$$

$$\frac{x \text{ dBm}}{10} = \text{LOG } 10^3 P$$

$$P = 10^3 \text{ ANTILOG } \frac{x \text{ dBm}}{10} \quad (1.20)$$

De dBm a VOLTAJE

$$P = VI = V^2/Z$$

$$x \text{ dBm} = 10 \text{ LOG } 10^3 V^2/Z$$

$$\frac{x \text{ dBm}}{10} = \text{LOG } 10^3 \frac{v^2}{z}$$

$$\frac{10^3 \frac{v^2}{z}}{10} = \text{ANTILOG } \frac{x \text{ dBm}}{10}$$

$$v = \sqrt{10^{-3} z \text{ ANTILOG } \frac{x \text{ dBm}}{10}} \quad (1.21)$$

De VOLTAJE a dBm

$$x \text{ dBm} = 10 \text{ LOG } 10^3 \frac{v^2}{z} \quad (1.22)$$

1.3.2 GRAFICOS DE CORRESPONDENCIA

En estos gráficos se encuentra la correspondencia entre dBm y voltaje para los valores de Z (50, 75, 150 y 600 OHMIOS), más comúnmente utilizados en comunicaciones, tal como se puede ver en Figuras 1.7 y 1.8

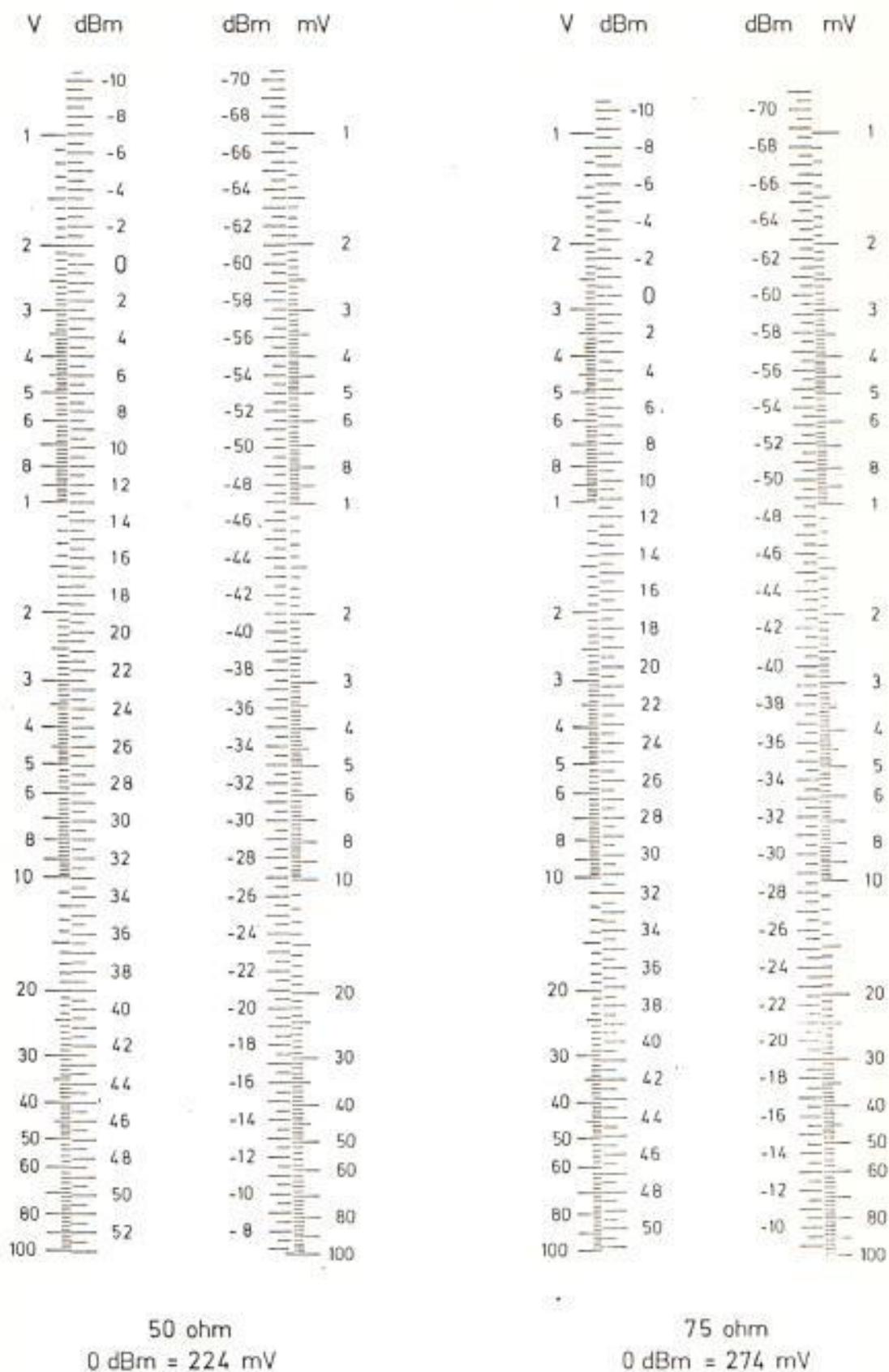


FIGURA 1.7 CORRESPONDENCIA ENTRE VOLTAJE Y dBm.

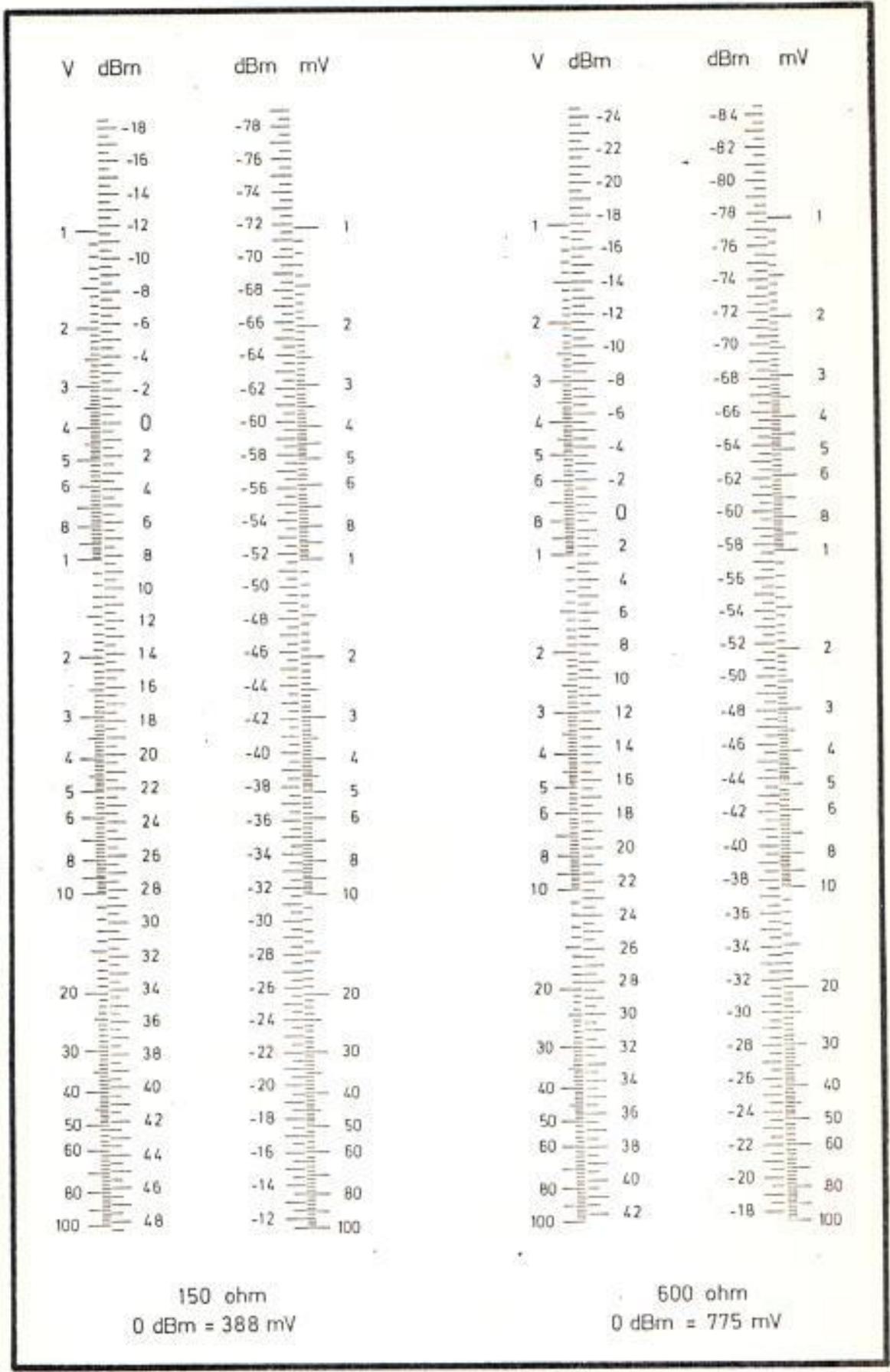


FIGURA 1.8 CORRESPONDENCIA ENTRE VOLTAJE Y dBm.

1.4 TERMINOS USADOS PARA MEDICIONES DE RUIDO

Cada canal telefónico está relacionado con el equipo de múltiplex, es decir que no actúa solo, sino en medio de otros canales (pueden ser doce, veinticuatro, sesenta, trescientos, novecientos sesenta o más), esto implica que se debe incluir dentro del ruido del canal telefónico, no solo el ruido propio, sino el producido por los restantes (diafonía), o el producido por los numerosos y complejos pasos de modulación (intermodulación). Incluso el conjunto de canales telefónicos atraviesa toda la cadena, amplificadores del múltiplex, equipos de microondas, tramos entre antenas, etc., y aquí se pueden originar distorsión de importancia variable que producirán en definitiva ruido en el canal telefónico.

El ruido es por lo tanto todo tipo de disturbio que contribuya a deteriorar la señal útil; de aquí surge la necesidad de medir el ruido.

1.4.1 DEFINICIONES DE pW, PWO y PWOP

pW.- El término x pW denota el nivel de potencia absoluta en picovatios (10^{-12} W), en cualquier

punto en el sistema, independiente de el nivel normal de prueba en el punto considerado.

$$1 \text{ picovatio} = 10^{-12} \text{ vatio} = -90 \text{ dBm.}$$

pWO.- El término xpWO indica el nivel de potencia en picovatios con referencia a 1 mW (0 dBm), en un punto de nivel relativo cero, es decir, con respecto al nivel normal de prueba en ese punto. En un punto donde el nivel relativo difiere de cero, el nivel de potencia puede ser expresado por la diferencia entre el nivel normal de prueba en ese punto y 1 milivatio.

pWOp.- El término xpWOp denota el "sofométricamente cargado", nivel de potencia en picovatios en un canal telefónico (300 - 3400 Hz).

CAPITULO II

METODOS DE MODULACION

2.1 SISTEMA DE MODULACION AM

Sea una onda sinusoidal de amplitud A y frecuencia ω_0 y la representamos por:

$$Y = A \cos \omega_0 t \quad (2.1)$$

Decimos que ésta onda está modulada en amplitud cuando hacemos variar su amplitud A de acuerdo a una ley en función del tiempo que representa nuestra información, o sea $A = A(t)$, y supongamos que la información consiste en otra onda sinusoidal del tipo:

$$x(t) = a \cos \Omega t \quad (2.2)$$

y que además, se cumple $\Omega < \frac{\omega}{2}$ y $a < A$. Entonces si queremos que la amplitud varíe de acuerdo a nuestra ley, será:

$$A(t) = A + a \cos \Omega t$$

$$A(t) = A \left(1 + \frac{a}{A} \cos \Omega t \right)$$

$$m = \frac{a}{A} = \text{índice de modulación}$$

La onda portadora original quedará:

$$Y = A (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (2.3)$$

En la Figura 2.1 se muestra una representación del análisis anterior.

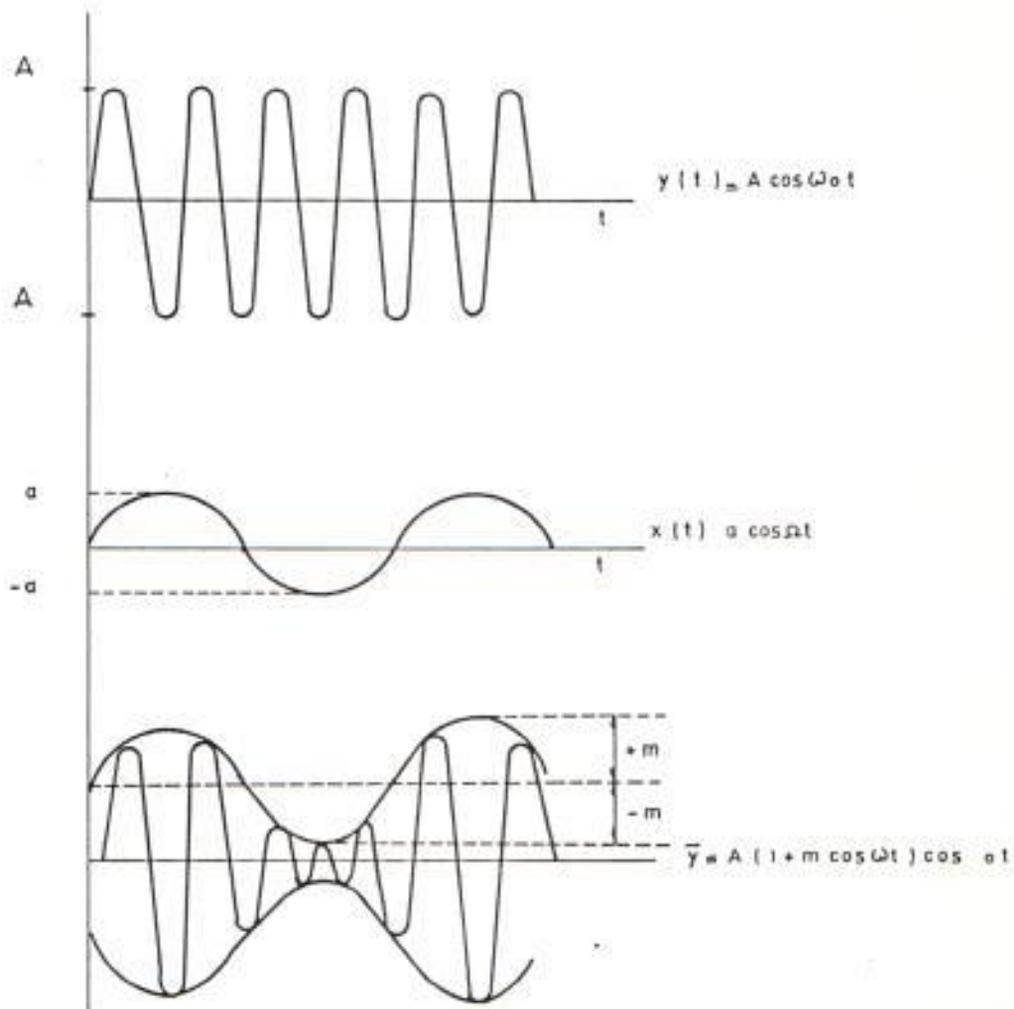


FIGURA 2.1
MODULACION DE AMPLITUD

Reordenando la ecuación (2.3)

$$\frac{y}{A} = y = \cos \omega_0 t + m \cos \Omega t \cdot \cos \omega_0 t$$

y descomponiendo esta relación

$$y = \cos \omega_0 t + \frac{m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t \quad (2.4)$$

Se observa que esta onda tiene:

Una componente de frecuencia ω_0 y amplitud 1

Una componente de frecuencia $\omega_0 - \Omega$ y amplitud $\frac{m}{2}$

Una componente de frecuencia $\omega_0 + \Omega$ y amplitud $\frac{m}{2}$

En el espectro de frecuencia se tendría (Figura 2.2 a)

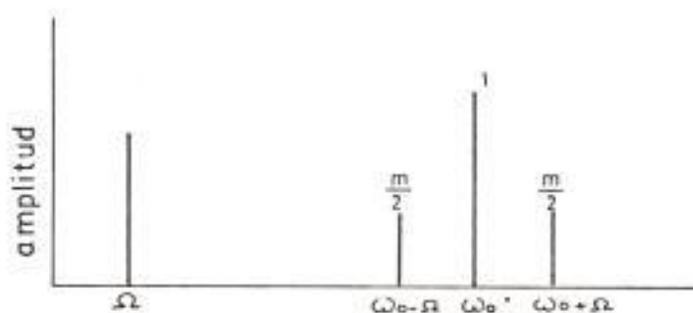


FIGURA 2.2 a

ESPECTRO DE FRECUENCIA EN MOD. DE AMPLITUD

Se deduce que como resultado del proceso de modulación se ha obtenido una traslación en el espectro de frecuencia de la señal $X(f)$ y que se ha ubicado simétricamente a ambos lados de la frecuencia portadora en

$$\omega_0 - \Omega \quad \omega_0 + \Omega$$

Normalmente nos interesa el caso en que la información no es una frecuencia única, sino una banda de frecuencias. Si modulamos la portadora con un canal telefónico (300 - 4000 Hz), tendríamos un resultado, tal como lo podemos apreciar en la Figura (2.2b)

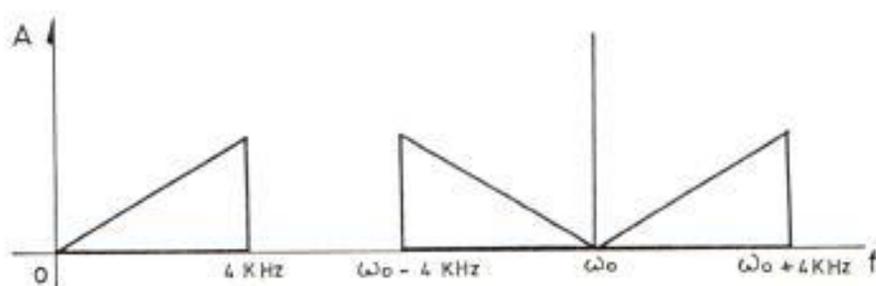


FIGURA 2.2b

MODULACION AM DE UN CANAL TELEFONICO

Pasando por alto un análisis detallado, las bandas laterales son las que llevan la información y la mayor parte de la energía entra en la portadora, entonces sería una economía suprimir la frecuencia portadora y una banda lateral y a esto es lo que se denomina transmisión de banda lateral única con portadora suprimida.

2.1.1 FORMACION DEL GRUPO, SUPER GRUPO BASICO Y BANDA BASICA

Con objeto de emplear los cables y los radio enlaces tan eficazmente como sea posible, así como para simplificar la estructuración de diferentes sistemas, los canales telefónicos se combinan en grupos de canales para formar cada vez grupos más grandes; esto se ilustra con el ejemplo de la Figura 2.3, que muestra la forma de estructurar un sistema de 300 canales.

Aquí se ilustra la forma en que la comunicación tiene lugar entre dos apartos telefónicos de abonado a través de las centrales de comunicación, respectiva terminales de portadoras y la línea con repetidores.

Desde el domicilio del abonado hasta el terminal

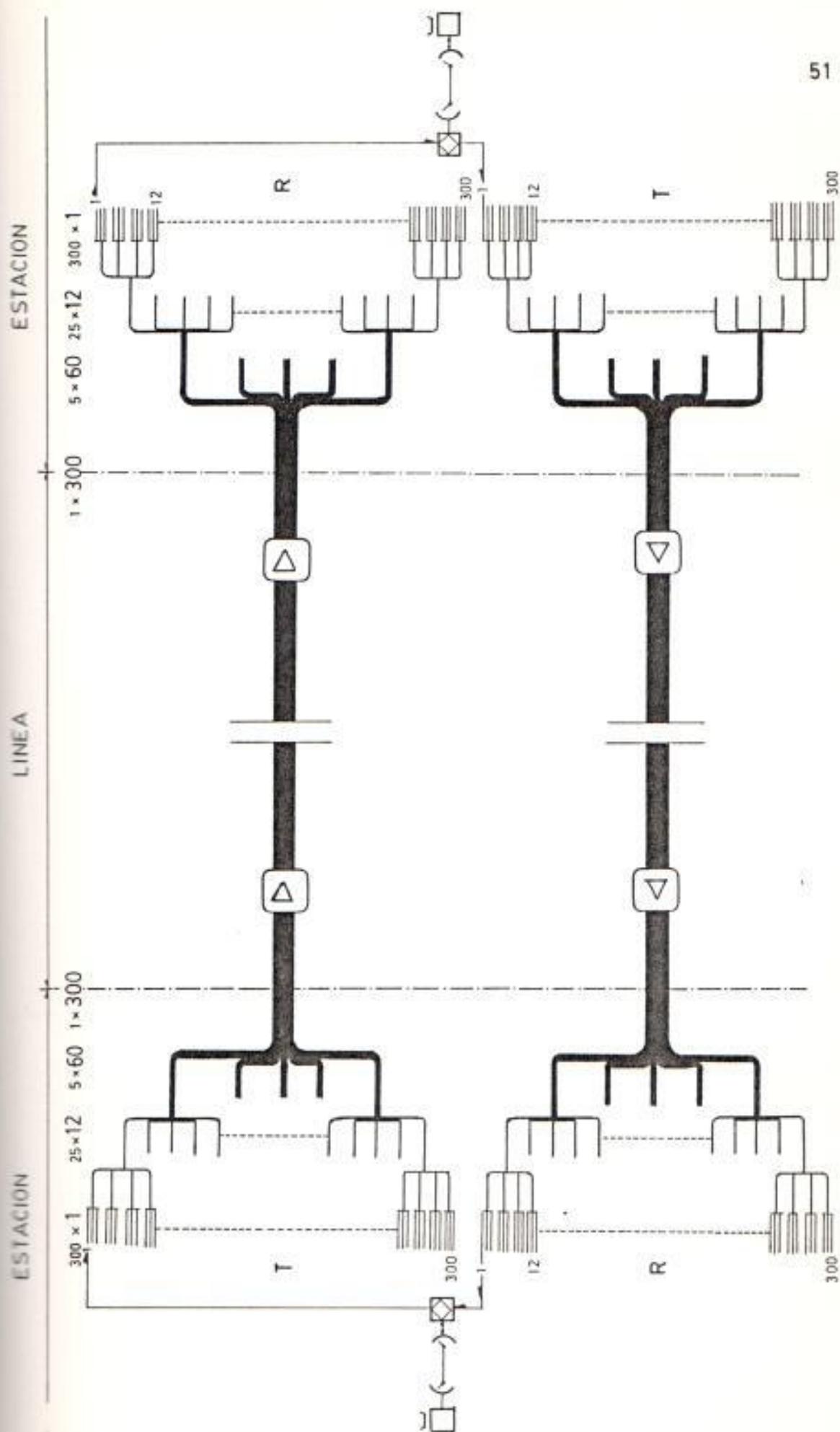


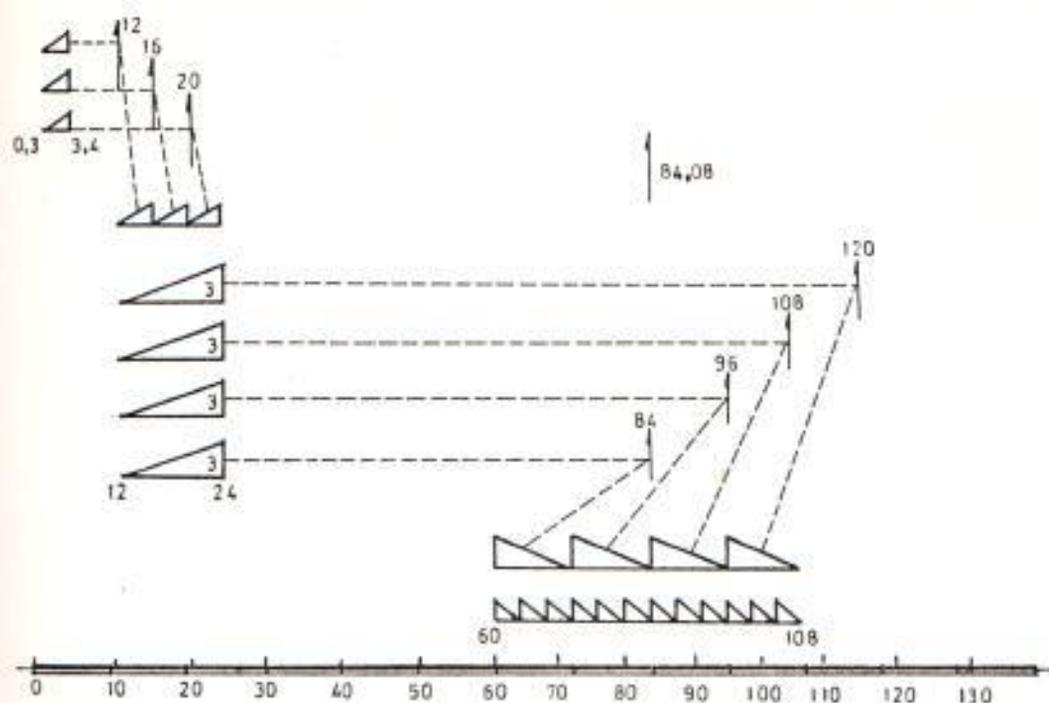
FIGURA 2.3 FORMACION DE UN SISTEMA DE 300 CANALES

del sistema por portadoras, el circuito representado en el ejemplo es del tipo de dos hilos y los dos sentidos de comunicación del habla se separan por medio de un transformador HIBRIDO. El sistema por portadora con su línea es de cuatro hilos.

La mitad superior de la figura muestra el sentido de transmisión de izquierda a derecha y la mitad inferior muestra el sentido opuesto (T = extremo de transmisión y R = extremo de recepción), se muestra además, la forma en que los 300 canales se conectan a la central de conmutación, se combinan primero en grupo de 12 canales para formar luego 25 grupos. Estos se combinan a continuación en grupos de 5 para formar cinco supergrupos (cada supergrupo contiene 60 canales), que se combinan a su vez para formar un grupo de línea (banda base), de 300 canales para su transmisión a través de la línea. En el extremo de recepción, el grupo de línea se divide en supergrupos, grupos y canales en forma similar, cabe anotar que cuando las diferentes partes de un grupo de canales se combinan, se colocan contiguamente en el espectro de frecuencias por medio de un proceso de modulación; esto se conoce como multiplexación por división de frecuencia.

2.1.2 GRUPO BASICO

El grupo básico en todos los sistemas se denomina GRUPO (o también grupo primario) y consiste en 12 canales colocados en la banda de frecuencia 60 - 108 KHz, como puede apreciarse en el plan de modulación de la Figura 2.4, un grupo puede formarse por medio de dos etapas de modulación. Puede formarse primero un subgrupo consistente en tres canales en la banda de frecuencias 12 - 24 KHz. Cuatro subgrupos de este tipo se combinan a continuación por formar un grupo, como se ve en la Figura, se emplea en este caso la banda lateral inferior y la numeración de los canales se hace de la frecuencia más alta a la más baja. Este plan de modulación muestra también las frecuencias portadoras empleadas para las diferentes traslaciones, estas son de 12, 16, 20 KHz, para formar un pre-grupo con de tres canales, luego 84, 96, 108, 12 KHz., se combinan con cada pregrupo respectivamente, para dar lugar al grupo básico de 12 canales.



Todas las frecuencias son en KHz

FIGURA 2.4

FORMACION DE UN GRUPO BASICO

2.1.3 EL SUPER GRUPO BASICO

Observando la figura 2.3, vemos que luego del grupo básico se forma el super grupo básico con una agrupación de cinco grupos (60 canales), y con referencia a la Figura 2.5, el proceso es similar al que se emplea en la formación del grupo básico, cambiando solo las frecuencias portadoras, y por proceso de filtrado se suprime la banda lateral superior. Se debe notar que la banda básica va de 312 KHz a 552 KHz, y además,

a sido necesario disponer de cinco frecuencias portadoras para ordenar los cinco grupos básicos en el super grupo básico.

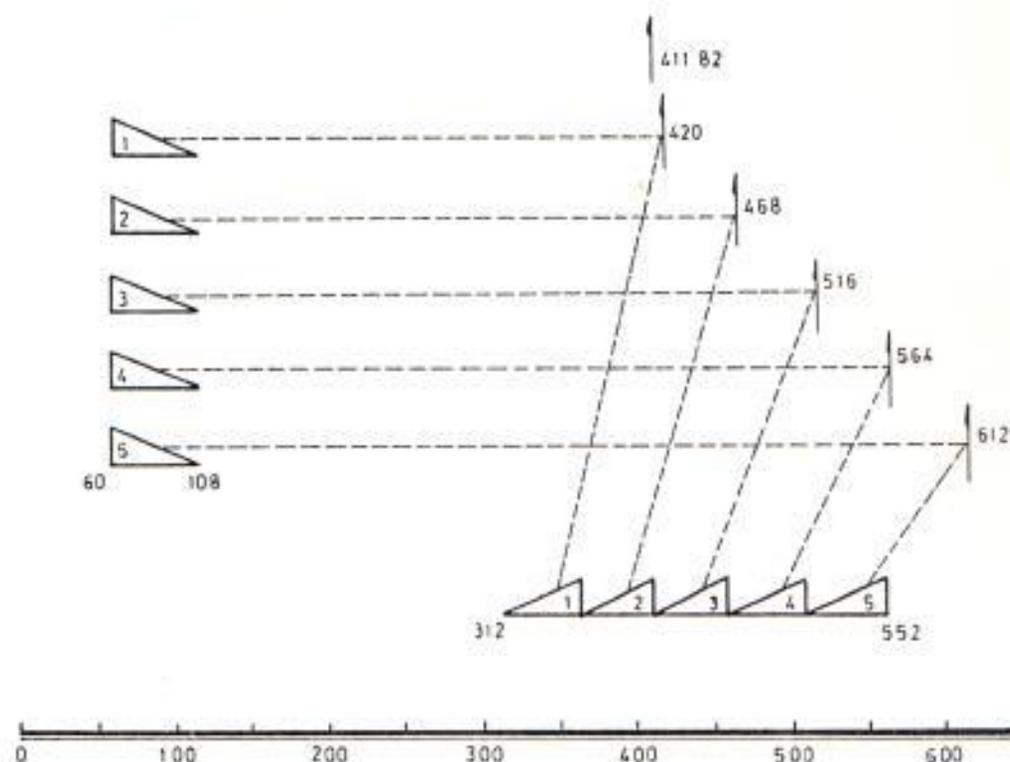


FIGURA 2.5

(TODAS LAS FRECUENCIAS ESTAN DADAS EN KHz)
FORMACION DE UN SUPER GRUPO BASICO

2.1.4 BANDA BASICA PARA 960 CANALES

Analícemos como se forma la banda básica de 960 canales a partir de 16 super grupos básico (SGB), de la Figura 2.6, los 16 S.G.B., se encuentran en forma directa ocupando la banda de frecuencia 312-552 KHz; primero se modula el S.G.B., número

1 con una portadora de 612 KHz, eso da la banda lateral inferior situada entre 60 KHz y 300 KHz y la banda superior entre 924 KHz y 1164 KHz. Se suprime la banda lateral superior y se retiene la banda inferior que desde luego queda invertida.

El S.G.B. número 2 no sufre ninguna modulación e integra la banda básica tal cual está, o sea ocupando la banda entre 312 KHz y 552 KHz, en forma directa.

El S.G.B. número 3 se modula con una portadora de 1116 KHz, lo cual da la banda lateral inferior ocupando entre 564 KHz y 804 KHz, y la banda lateral superior entre 1428 y 1668 KHz, se suprime la banda superior y se retiene la inferior. Este proceso se continua en forma idéntica para los S.G.B. del 4 al 16 tal como se observa en la Figura, y en definitiva la banda básica ocupa un rango de frecuencia que va de 60 KHz a 4028 KHz.

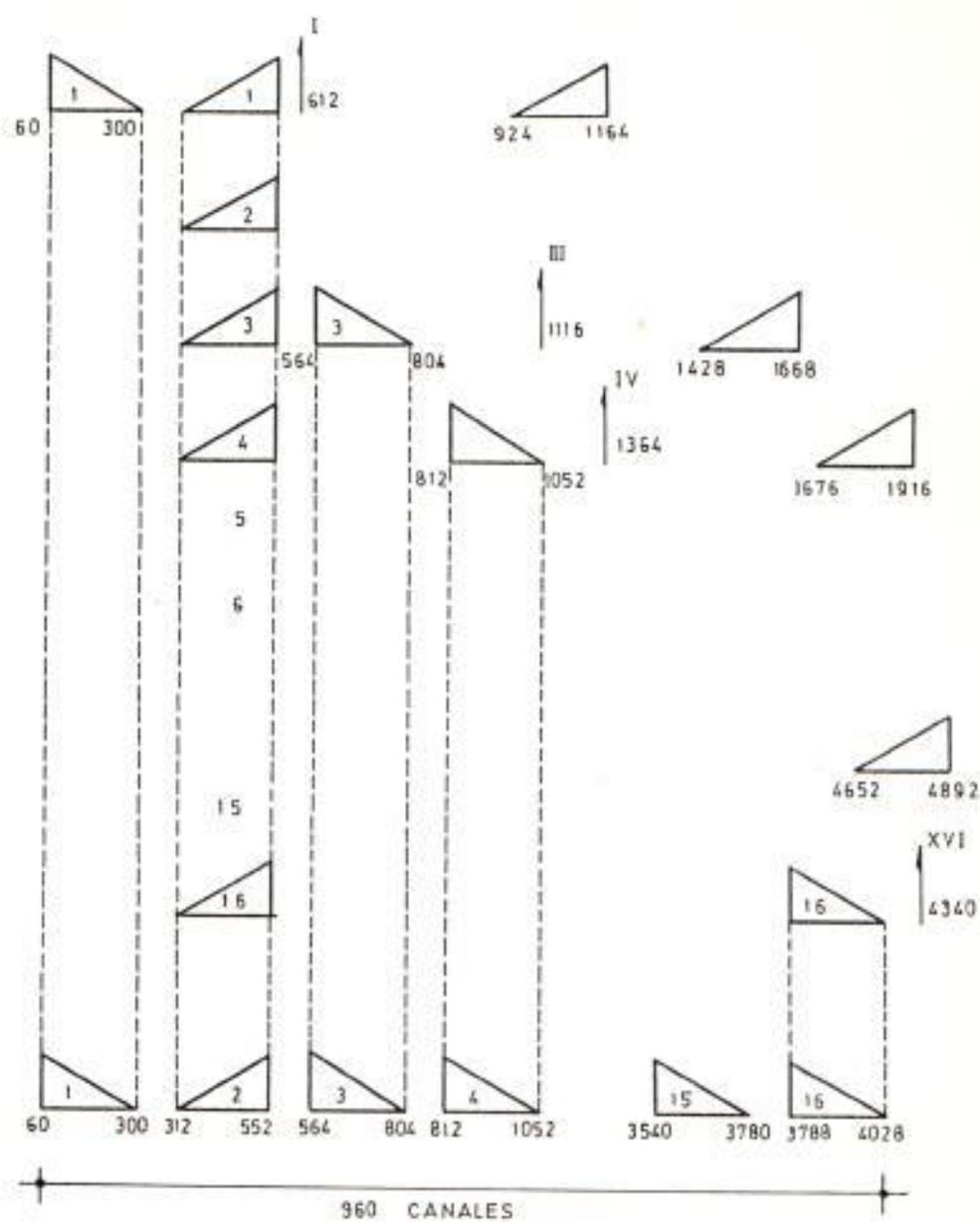


FIGURA 2.6

CONFIGURACION DE UNA BB. PARA 960 CANALES

Podemos apreciar que para formar la banda básica han sido necesarias 15 frecuencias portadoras diferentes, tal como se muestra en la Tabla N° II.

PORTADORA	FRECUENCIA KHz	PORTADORA	FRECUENCIA KHz
I	612	IX	2604
II	DIRECTO	X	2852
III	1116	XI	3100
IV	1364	XII	3348
V	1612	XIII	3596
VI	1860	XIV	3844
VII	2108	XV	4092
VIII	2356	XVI	4340

FRECUENCIAS PORTADORAS PARA FORMAR LA BANDA BASICA
TABLA N° II

Hay que observar que todos los S.G.B. excepto el número dos se transmiten en forma invertida, la separación entre los S.G.B.1 y S.G.B.2 y entre

los S.G.B.2 y S.G.B.3 es de 12 KHz y entre los restantes S.G.B. del 3 al 16 es de 8 KHz, de esto se deduce que el S.G.B.2 se lo puede utilizar fácilmente en derivaciones.

2.1.5 FRECUENCIA PILOTO Y DE SEÑALIZACION

Tal como se ha mencionado anteriormente, los grupos transmitidos de canales (grupos, supergrupos, etc.) tienen sus portadoras suprimidas en el lado de emisión. Además, puesto que la información de habla y señalización transmitida fluctúa considerablemente, el nivel de cualquier grupo básico de canales puede variar entre límites bastante amplios; por consiguiente las mediciones directas en el grupo de canales no resultan en ninguna información útil.

Con el objeto de poder efectuar las mediciones de mantenimiento y las operaciones para localización de averías con el sistema en tráfico debe ser posible comprobar el nivel de los grupos de canales en diferentes puntos del sistema. Siendo además, deseable la supervisión y regulación automática de nivel, a cada grupo básico de canales se le ha asignado una frecuencia de referencia con nivel muy estable a lo que se denomina PILOTO

DE REFERENCIA.

Este piloto que tiene un nivel bien definido, se inyecta directamente en el punto en que se forma el grupo básico de canales y acompaña a dicho grupo a través de la red, hasta que el grupo de canales en cuestión se divide de nuevo en grupos más pequeños. Desde el punto de vista de la frecuencia, los pilotos se colocan entre canales o grupos, etc., de forma que no causen interferencias en los mismos, y normalmente lo más cercano al centro de la banda como sea posible.

Según las recomendaciones del CCIT, se emplean los siguientes pilotos de referencia, véase Tabla III.

GRUPO BASICO DE CANALES	PILOTO (KHz)	COLOCADO EN
GRUPO	84,08	EQUIPO DE TRASLACION DE CANALES
SUPERGRUPO	411,92 KHz	EQUIPO DE TRASLACION DE GRUPOS
GRUPO MAESTRO	1522 KHz	EQUIPOS DE TRASLACION DE SUPER GRUPOS

PILOTOS DE REFERENCIA

TABLA N^o III

Puesto que los grandes grupos de canales pueden incluir un gran número de pilotos, sus niveles individuales deben mantenerse lo más bajos posibles, con el objeto de evitar sobrecargas innecesarias en el grupo; tal como moduladores, amplificadores, etc.

El nivel especificado por el CCITT para estos pilotos es de -20 dBm₀.

Puesto que los pilotos de referencia se inyecten con una precisión de nivel muy grande, es posible, siguiendo el piloto a través de la red con mediciones ya sean manuales o automáticas, formarse una idea muy exacta de la condición de nivel en la red.

SEÑALIZACION: Con el objeto de establecer una conexión entre dos centrales telefónicas a través de un sistema de portadoras debe ser posible transmitir señales a través del sistema. El equipo de señalización acepta señales de corriente continua, procedentes de la central de conmutación; las convierte a señales de corriente alterna que el sistema de portadora pueda transmitir, y en la estación de recepción las convierte a señales de corriente continua para emisión hacia

la central de conmutación. Las señales de corriente alterna se transmiten con una frecuencia separada dentro o fuera de la banda de habla del canal.

Como se puede observar en la Figura 2.7, el interfaz hacia la central consiste en un hilo separado de señalización que se pone a tierra cuando se emiten señales desde la central.

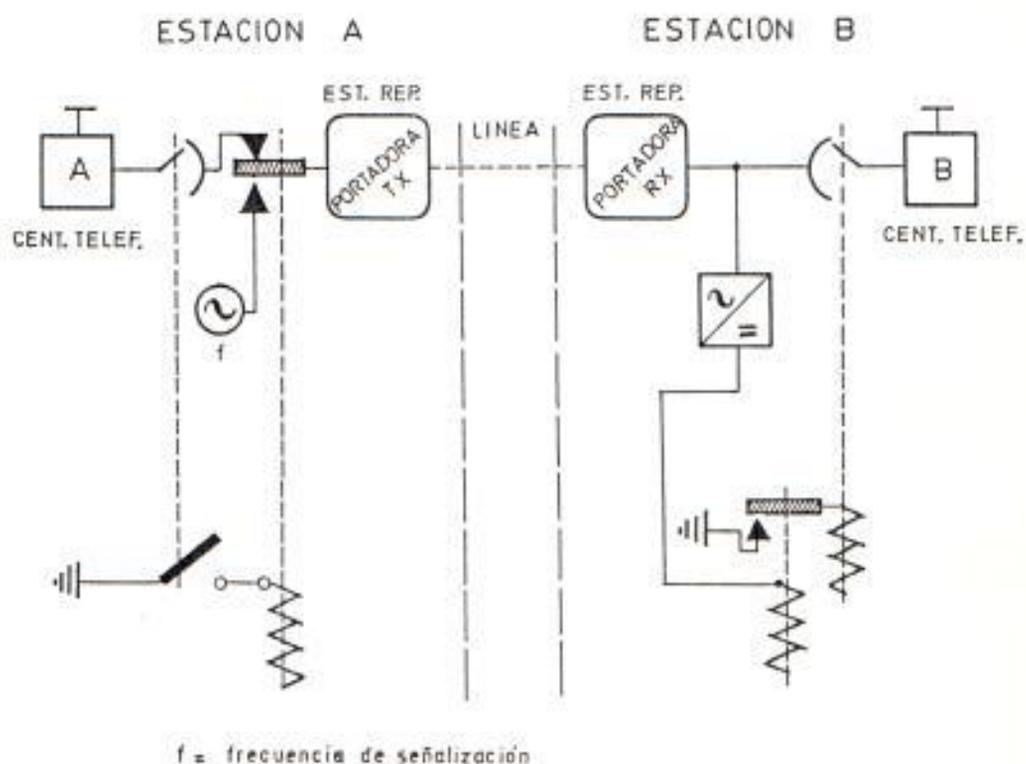


FIGURA 2.7

PRINCIPIO DE SEÑALIZACION EN UN SISTEMA DE ONDA PORTADORA

Ello opera en relé de emisión del sistema de portadoras que en la estación A conecta la frecuencia de señalización al canal en cuestión. La frecuencia transmitida acompaña al canal de habla a través del sistema. En el receptor B y en el mismo canal hay un receptor de señalización sintonizado a dicha frecuencia. Al aparecer una señal en la entrada del receptor, su relé atrae y cierra un contacto a tierra del hilo de señalización en recepción. Este hilo constituye el interfaz hacia la central. La señalización en el sentido opuesto tiene lugar desde luego, precisamente en la misma forma.

Las denominaciones de los diferentes métodos de señalización se basan en la forma en que la frecuencia de señalización se coloca en frecuencia, en relación a la banda de habla 0,3 - 3,4 KHz. Si la frecuencia de señalización se coloca dentro de la banda de habla, el método de señalización se denomina dentro de banda; si la frecuencia de señalización se coloca fuera de la banda de habla, el método de señalización se denomina "señalización fuera de banda", tal como se muestra en la Figura 2.8.

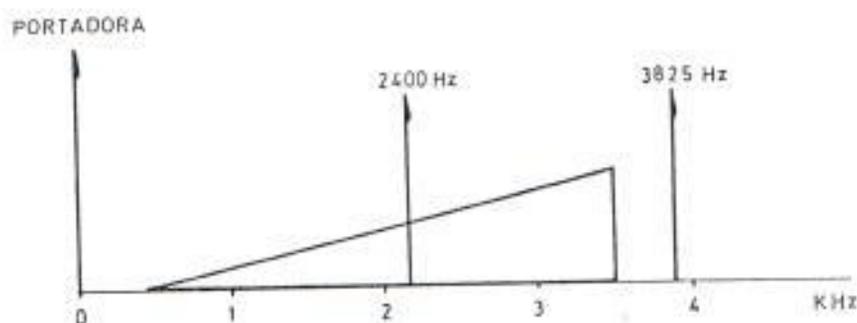


FIGURA 2.8

FRECUENCIAS PORTADORAS DE SEÑALIZACION DENTRO DE BANDA (2400 Hz) Y FUERA DE BANDA (3825 Hz)

Las frecuencias que se emplean normalmente en señalización dentro de banda son 2280 Hz y 2400 Hz, en el caso de señalización fuera de banda, la frecuencia predominante usada en la actualidad es de 3825 Hz.

2.2 MODULACION EXPONENCIAL

En contraste con la modulación lineal, la modulación exponencial es no lineal, y por lo tanto el principio de superposición no es aplicable, y el espectro de la señal modulada no estará relacionado de manera directa con el espectro de la señal de mensaje.

Existen dos sistemas de modulación de ángulo usados

comúnmente: a) modulación de frecuencia y, b) modulación de fase. Las expresiones generales de estas señales, son:

$$S(t) = A \cos [W_c(t)] \quad \text{MODULACION DE FRECUENCIA} \quad (2.5)$$

$$S(t) = A \cos [W_c t + \theta(t)] \quad \text{MODULACION DE FASE} \quad (2.6)$$

Estas dos expresiones pueden ser expresadas en forma general como:

$$S(t) = A \cos [W_c t + \varphi(t)] \quad (2.7)$$

En donde $\varphi(t)$ es una función de la señal moduladora $m(t)$ y será distinta para FM y PM. La relación (2.7) puede también ser escrita en forma fasorial, como

$$S(t) = \text{Re} [A e^{j(W_c t + \varphi(t))}] \quad (2.8)$$

y conocemos que:

$$A e^{j\theta} = A (\cos \theta + j \sin \theta)$$

La función $A e^{j\theta}$ se representa en el plano complejo por fasor de longitud A y un ángulo θ . Ya que $\varphi(t)$ tiene el efecto de modificar el ángulo θ ,

de qué el nombre de modulación de ángulo o modulación exponencial a las modulaciones de frecuencia y fase.

Las señales moduladas de frecuencia a fase, a diferencia de modulación de amplitud, tienen la ventaja de que su envolvente no transporta información; por tanto cualquier ruido que se superpone a su envolvente puede ser cancelado por medio de circuitos limitadores de amplitud, es por esta razón que la recepción de una señal FM es mucho más nítida que una recepción AM.

2.2.1 MODULACION DE FRECUENCIA

A fin de comprender las relaciones que existen en una onda de frecuencia modulada, se hace necesario tener bien establecido el significado de frecuencia instantánea f_i .

La ecuación (2.5) puede ser escrita en forma general

$$S(t) = A \cos \varphi(t) \quad (2.9)$$

En donde:

$S(t)$ = amplitud instantánea

A = amplitud máxima

$\vartheta(t)$ = desplazamiento angular total en el tiempo
t

La velocidad angular instantánea ω_i es por definición, la razón instantánea de cambio $\frac{d\vartheta(t)}{dt}$ del desplazamiento angular $\vartheta(t)$.

Por lo tanto, podemos escribir

$$\text{VELOCIDAD ANGULAR INSTANTANEA} = \omega_i = 2\pi f_i = \frac{d\vartheta(t)}{dt} \quad (2.10)$$

Por lo tanto una onda sinuzoidal de frecuencia constante es un caso especial de la ecuación (2.10), esto es debido a que el término frecuencia implica periodicidad y una periodicidad variable en el tiempo no tiene sentido de aquí es que hablamos de velocidad angular instantánea. Así si en este caso esta frecuencia es designada como f_c correspondiente a la velocidad angular $\omega_c = 2\pi f_c$, tenemos

$$\vartheta(t) = \omega_c t + \theta \quad (2.11)$$

Donde θ es la posición angular a $t = 0$

Relacionando (2.11) con (2.10), resulta para este caso

$$W_i = \frac{d \varphi(t)}{dt} = W_c \quad (2.12)$$

Una onda modulada en frecuencia con una onda sinusoidal es por definición una onda en la cual la velocidad angular instantánea varia de acuerdo a la relación:

$$W_i = W_c + 2\pi \Delta f \cos W_m t \quad (2.13)$$

Donde:

W_i = velocidad angular instantánea

W_c = velocidad angular de la onda portadora

$W_m = 2\pi$ veces la frecuencia modulante f_m

Δf = máxima (pico) desviación de la frecuencia instantánea

Una característica fundamental de una onda modulada en frecuencia es que la desviación de frecuencia es proporcional a la amplitud pico de la señal modulante y es independiente de la frecuencia modulante, o sea $\Delta f = K A_m$.

La ecuación de la onda de frecuencia modulada es obtenida ahora por la combinación de las ecuaciones (2.10) y (2.13) para obtener $\varphi(t)$ y luego ésto sustituimos en (2.9), así:

$$W_i = \frac{d \varphi(t)}{dt} = W_c + 2\pi \Delta f \cos W_m t$$

Integrando obtenemos:

$$\vartheta(t) = Wct + \left(\frac{2\pi f}{W_m} \right) \text{sen } W_m t + \theta \quad (2.14)$$

La constante de integración θ en (2.14) define la posición angular en el tiempo $t=0$.

Si asumimos $\theta = 0$ por razones de simplicidad, obtenemos:

$$S(t) = A \cos(Wct + \frac{2\pi \Delta f}{W_m} \text{sen } Wmt) \quad (2.15)$$

Esto es comúnmente escrito en la forma:

$$S(t) = A \cos(Wct + m_f \text{sen } Wmt) \quad (2.16)$$

Donde m_f es denominado como índice de modulación de una onda modular en frecuencia y tiene como definición:

$$m_f = \frac{\text{MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA}}{\text{FRECUENCIA MODULANTE}} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (2.17)$$

Se debe notar que para una desviación de frecuencia dada, el índice de modulación varía inversamente a la frecuencia modulante.

2.2.2 MODULACION DE FASE (MF)

En la ecuación (2.6), tenemos la representación

de una onda modulada en fase, siendo $A \cos \omega_c t + \theta$ la onda portadora y $a \cos \omega_m t$ la señal modulante. Si la fase de la onda portadora se hace variar dentro de $\pm \Delta\theta$ conforme a la amplitud de la señal, la onda modulada en fase también puede ser expresada, como:

$$S(t) = A \cos (\omega_c t + \Delta\theta \sin \omega_m t) \quad (2.18)$$

En donde, $\Delta\theta$ se lo denomina desviación de la fase máxima ó índice de modulación de fase m_p o sea $m_p = \Delta\theta$ y la ecuación (2.18) se transforma en:

$$S(t) = A \cos (\omega_c t + m_p \sin \omega_m t) \quad (2.19)$$

Esta ecuación tiene la misma forma que la ecuación (2.16) del caso de la modulación de frecuencia. Entonces si m_f para FM es igual m_p para PM, las formas de los espectros de frecuencias resultan iguales. La única diferencia radica en que m_f varía en proporción inversa con la frecuencia de la señal moduladora y en cambio m_p es indiferente a ella.

Para analizar la diferencia entre FM y PM, escribiremos las ecuaciones (2.16) y (2.19)

$$S(t) = A \cos (W_c t + m_f \sin W_m t) \quad (2.20)$$

$$S(t) = A \cos (W_c t + m_p \sin W_m(t))$$

De aquí se concluye que la magnitud de la variada fase es $m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$ para FM y $m_p = \Delta \theta$ para PM, respectivamente y la forma de variación de fase obedece a $\sin W_m t$ y es igual en ambos casos. Por otra parte, para comparar la FM con la PM en cuanto a la variación de la frecuencia diferenciando los términos incluidos en los paréntesis de las dos ecuaciones, se tienen las siguientes frecuencias angulares:

$$\frac{d (W_c t + m_f \sin W_m t)}{dt} = W_c + \Delta f \cos W_m t$$

$$\frac{d (W_c t + m_p \sin W_m t)}{dt} = W_c + \Delta \theta W_m \cos W_m t$$

De estas ecuaciones se concluye que la magnitud de la variación de la frecuencia instantánea es Δf para FM y $\Delta \theta W_m$ para PM. Entonces de lo mencionado hasta ahora se puede decir que en FM y en PM tanto la frecuencia como la fase varían conforme a la tensión de la señal moduladora.

La diferencia entre FM y PM se muestra en la

Figura (2.9), aquí en el modulador FM la desviación de frecuencia es constante e independiente de



DIFERENCIA ENTRE FM y PM

FIGURA 2.9

la frecuencia de la señal moduladora, pero en el modulador PM la desviación de frecuencia aumenta proporcionalmente a la elevación de la frecuencia de la señal moduladora, porque la desviación de fase es constante e independiente de la frecuencia de la señal moduladora.

2.2.3 ESPECTRO DE LA MODULACION DE FRECUENCIA

Una revisión superficial de la ecuación (2.16), nos puede llevar a pensar que una información puede ser transmitida en frecuencia modulada, en una banda de frecuencia extremadamente estrecha.

Los componentes de frecuencia que están en una onda de frecuencia modulada, los podemos determinar expandiendo la ecuación (2.16), por relaciones trigonométricas, así:

$$S(t) = A \cos(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) \quad (2.22)$$

tenemos que

$$\begin{aligned} \cos(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) &= \cos \omega_c t \cos(m_f \sin \omega_m t) \\ &\quad - \sin \omega_c t \sin(m_f \sin \omega_m t) \end{aligned} \quad (2.23)$$

y también

$$\begin{aligned} \cos(m_f \sin \omega_m t) &= J_0(m_f) + 2J_2(m_f) \cos 2\omega_m t + 2J_4(m_f) \\ &\quad \cos 4\omega_m t \quad (2.24) \end{aligned}$$

$$+ \dots + 2J_{2n}(m_f) \cos 2n\omega_m t + \dots$$

$$= J_0(m_f) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m_f) \cos 2n\omega_m t$$

$$\sin(m_f \sin \omega_m t) = 2J_1(m_f) \sin \omega_m t + 2J_3(m_f) \sin 3\omega_m t \quad (2.25)$$

$$+ \dots + 2J_{2n-1}(m_f) \sin (2n-1)\omega_m t + \dots$$

$$= 2 \sum_{n=0}^{\infty} J_{2n+1}(m_f) \sin (2n+1)\omega_m t$$

Podemos escribir a $S(t)$ de la siguiente forma

(2.26)

$$\begin{aligned} S(t) &= J_0(m_f) \cos \omega_c t - J_1(m_f) [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] \\ &\quad + J_2(m_f) [\cos(\omega_c - 2\omega_m)t + \cos(\omega_c + 2\omega_m)t] \\ &\quad - J_3(m_f) [\cos(\omega_c - 3\omega_m)t - \cos(\omega_c + 3\omega_m)t] \end{aligned}$$

De la ecuación (2.26), se concluye que la onda modulada en frecuencia se compone de una onda portadora (ω_c) e infinitas ondas laterales ($\omega_c + \omega_m$, $\omega_c + 2 \omega_m$, $\omega_c + 3 \omega_m, \dots$), por ejemplo en el caso de la onda portadora un primer par de bandas laterales que difieren de la frecuencia central (ω_c) en 500 Hz, y tendrían una amplitud proporcional a $J_1(mf)$, también un par segundas bandas laterales localizadas a $2 \times 500 = 1000$ Hz de la portadora y con amplitud proporcional a $J_2(mf)$, y así sucesivamente.

Por lo tanto una onda modulada en frecuencia no solo tiene los mismos componentes de frecuencia de una onda modulada en amplitud, sino que además bandas laterales de orden superior. Las amplitudes de los diferentes componentes para el caso de una modulación sinusoidal dependen del índice de modulación mf , y pueden ser calculadas con la ayuda de la tabla de las funciones de Bessel o también obtenidos de la Figura (2.10).

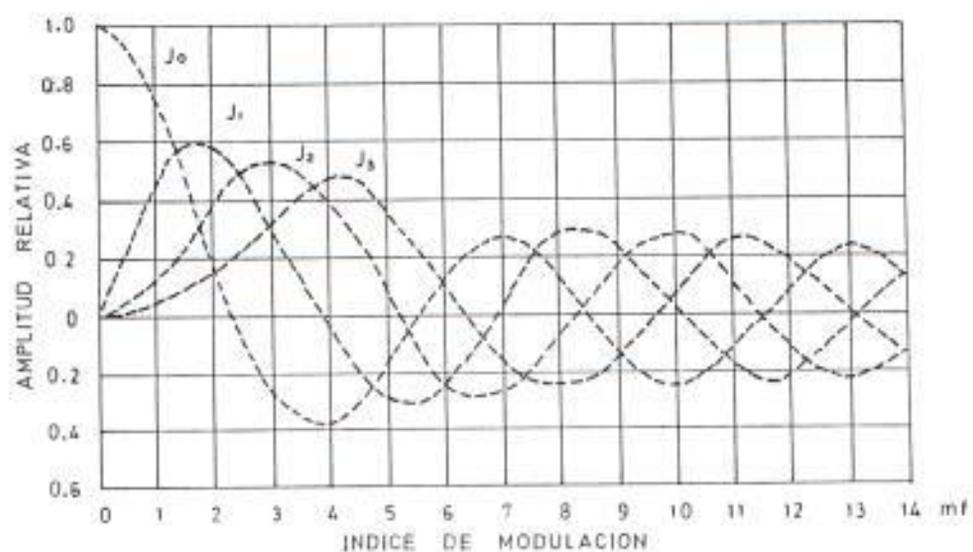


FIGURA 2.10

FUNCIONES DE BESSEL

El carácter de el espectro de frecuencia obtenidos bajo diferentes condiciones con frecuencia modulada es ilustrada en la Figura (2.11).

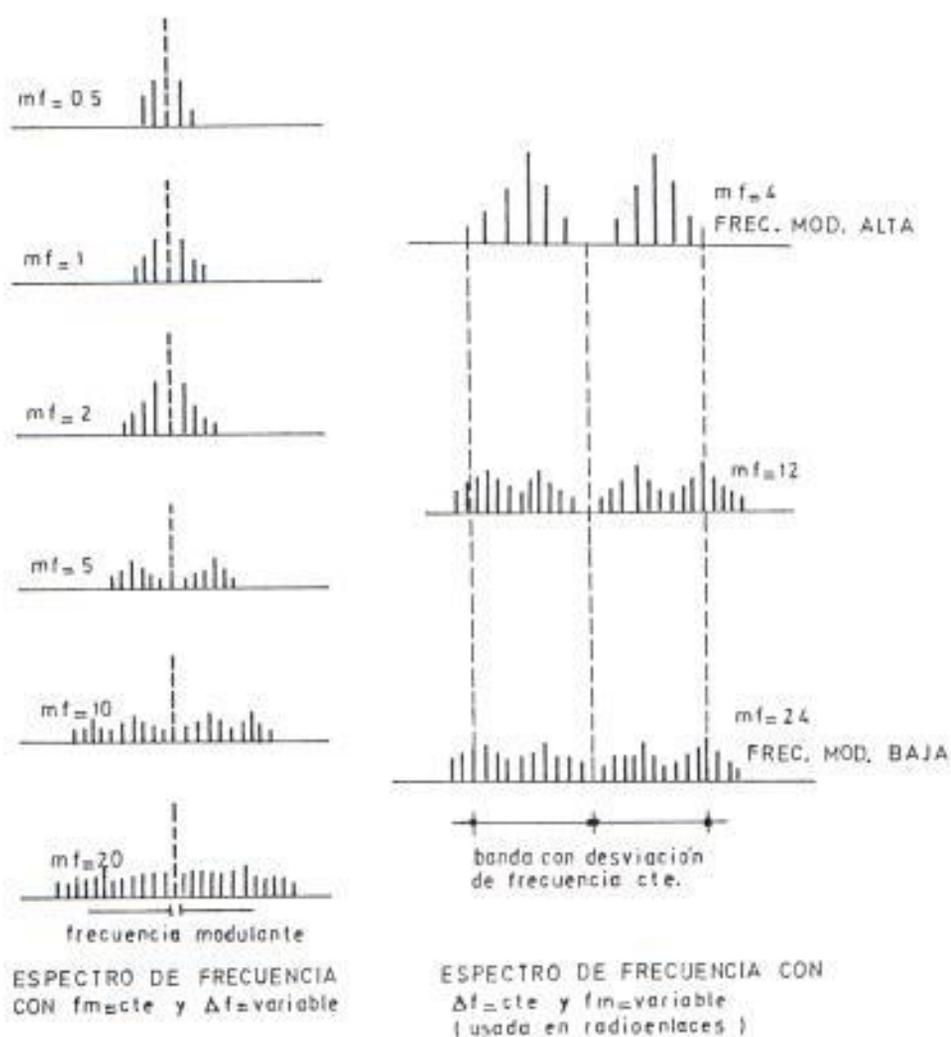


FIGURA (2.11)

ESPECTRO DE FRECUENCIA DE UNA ONDA
 MODULADA EN FRECUENCIA

Cuando el índice de modulación es menor que 0.5, es decir, cuando la desviación de frecuencia es menor o igual que la mitad de la frecuencia modulante, los componentes de las bandas laterales de segundo y tercer orden son relativamente pequeños y la banda de frecuencia requerida para acomodar la parte esencial de la señal es la misma que en modulación de amplitud; también la amplitud de las bandas laterales de primer orden son casi proporcional al índice de modulación; esto puede ser explicado si aproximamos en la ecuación (2.26) para $m_f \ll 1$:

$$J_0(m) = 1$$

$$J_1(m) = m_f / 2$$

$$J_n(m_f) = 0 \quad n \geq 2$$

Por otro lado, cuando el índice de modulación excede la unidad, es decir, cuando la desviación de frecuencia es más grande que la frecuencia modulante hay importantes componentes de bandas laterales contenidas en la onda.

En los sistemas de microondas se usa desviación constante ($\Delta f = \text{cte}$) y normalmente se trata de transmitir una banda de frecuencia $F_1 - F_2$

y entonces tendremos un índice de modulación variable. El CCIR en su recomendación N° 404-1 expresa para las desviaciones Δf lo escrito en la Tabla N° 2.3.

NUMERO MAXIMO DE CANALES	Δf (KHz) _{RMS}
12	35
24	35
60 - 120	50 - 100 - 200
300 - 600 - 960	200
1260	140 - 200
1800	140

TABLA N° IV

DESVIACION DE FRECUENCIA POR CANAL

2.2.4 MODULACION SIMULTANEA CON MAS DE UNA FRECUENCIA

Cuando la señal modulante está compuesta de más de dos frecuencias, el comportamiento de las bandas laterales es más complicado; sin embargo, es conocido que una señal compuesta de más de 60 canales telefónicos tiene forma de ruido aleatorio.

Por medio de análisis matemático, la forma de

energía en las bandas laterales sigue una distribución normal con una desviación de frecuencia efectiva, tomada como desviación standar (δ) cuando el índice de modulación es grande ($m_f > 0$), tal como se puede apreciar en la Figura.

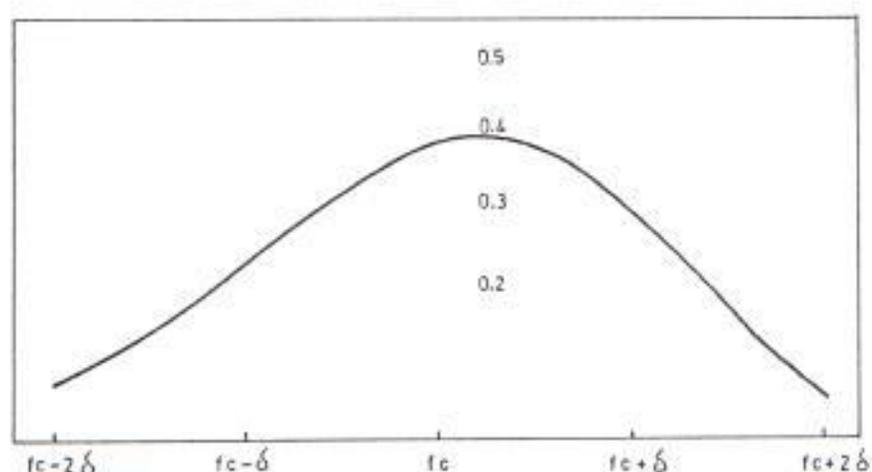


FIGURA 2.12

ESPECTRO DE ENERGIA DE UNA ONDA FM

El nivel de carga de ruido aleatorio para probar los sistemas de transmisión está dado por recomendación del CCIR y para mayor de 240 canales telefónicos:

$$\text{NIVEL DE CARGA} = [-15 + 10 \log_{10} N] \text{ dB} \quad N > 240 \quad (2.28)$$

N = número de canales.

Para canales menores de 240, se debe realizar correcciones.

Para este caso la desviación de frecuencia efectiva, está dada por

$$\sigma = \frac{\Delta f}{5.6} \sqrt{N} \quad (2.29)$$

σ = desviación de frecuencia efectiva

Δf = es la desviación de frecuencia (tono de prueba)

Para 960 canales y $S^\circ = 200$ KHz rms

$$\sigma = \frac{200}{5.6} \sqrt{960} = 1110 \text{ KHz.}$$

y el ancho de banda que necesitamos para cubrir el 99 % de la energía total, viene dado por

$$b = \pm (B + 2,58\sigma) \quad (2.30)$$

b = ancho de banda requerida

B = la mayor frecuencia modulante

Para 960 canales tenemos que $B = 4028$ y por lo tanto

$$b = \pm (4028 + 2,58 \times 1110) \text{ KHz.}$$

$$b = \pm 6,888 \text{ MHz} \quad (2.31)$$

En la práctica se toma un ancho de banda de \pm

7 MHz para 960 canales telefónicos.

2.3 EFFECTOS DEL RUIDO EN FM

Definimos la comunicación como el proceso donde la información es transmitida desde un punto a través del espacio y tiempo (llamado la fuente), a otro punto donde se encuentra el destinatario.

En el curso de la transmisión de la información, ciertos efectos no deseables se producen tales como intermodulación, ruido térmico, interferencia tal como se muestra en la Figura (2.13).

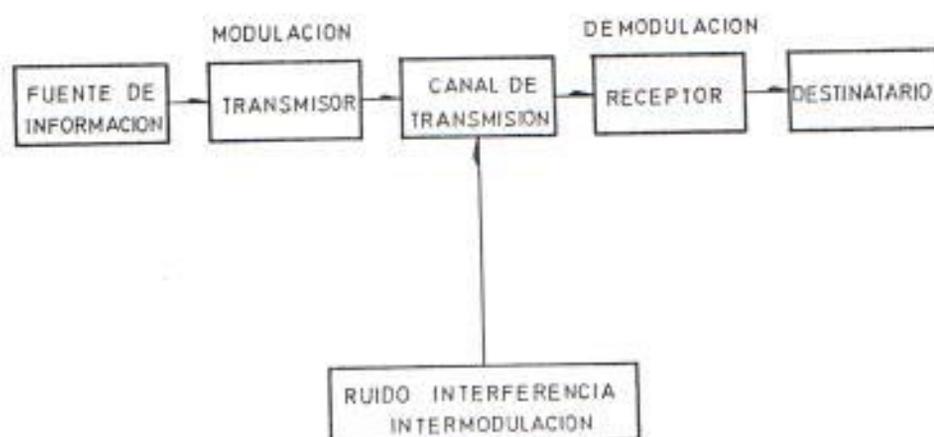


FIGURA 2.13

ELEMENTOS DE COMUNICACION

Estas fuentes de disturbio alteran la forma de la señal; analizaremos algunas de ellas.

2.3.1 RUIDO TERMICO, FACTOR DE RUIDO

El ruido térmico es un fenómeno asociado con el movimiento "Browniano" de electrones en un conductor. Los electrones en un conductor están en continuo movimiento aleatorio en equilibrio térmico con las moléculas. La potencia disponible de una fuente de ruido térmico ha sido encontrada que es proporcional al ancho de banda, en cualquier rango desde corriente directa hasta la frecuencia de microonda más alta, y para propósitos prácticos se la expresa, así:

$$N = KTB \quad \text{Watts} \quad (2.32)$$

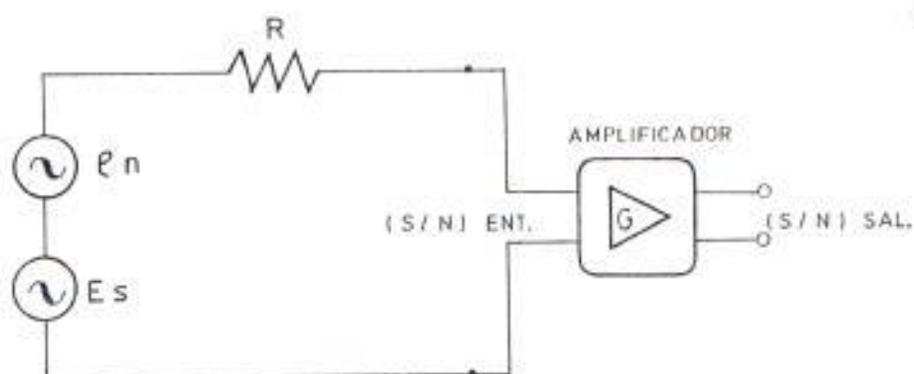
Donde N = fuente de potencia de ruido térmico

$$K = \text{constante de Boltzmann} = 1,3805 \times 10^{-23} \\ \text{Joule/}^\circ\text{K}$$

$$T = \text{temperatura absoluta (}^\circ\text{K)}$$

$$B = \text{ancho de banda}$$

Asumamos que conectamos una fuente de señal en serie con una fuente de ruido a un amplificador tal como se muestra en la Figura (2.14).



E_n = FUENTE DE RUIDO

E_s = FUENTE DE VOLTAJE

S/N = RELACION SENAL RUIDO

FIGURA 2.14
DOS FUENTES DE SEÑALES CONECTADAS
A UN AMPLIFICADOR

Si el amplificador es ideal, no generará ruido adicional a la salida y cumple que las relaciones S/N de entrada y salida son iguales

$$(S/N)_{ENT} = (S/N)_{SAL} \quad (\text{AMPL IDEAL}) \quad (2.33)$$

Si el amplificador no es ideal, entonces la relación (2.33), no se cumple y la (S/N) SALIDA sería menor que (S/N) ENT., y esto se debe al ruido generado por el amplificador. Al factor de ruido (F) se lo define como:

$$\text{FACTOR DE RUIDO: } \frac{(S/N) \text{ ENTRADA}}{(S/N) \text{ SALIDA}} = F \quad (2.34)$$

Si reordenamos la expresión (2.3.4) y usando la (2.32)

$$F = \frac{N \text{ salida}}{(S \text{ salida}) N \text{ entrada}} = \frac{N \text{ salida}}{G \text{ KTB}} = \frac{N_o}{G \text{ KTB}} \quad (2.35)$$

Donde:

G = ganancia del amplificador

N_o = ruido a la salida del amplificador.

Aquí F no tiene dimensión y es usualmente representado como 10 log F (dB). "N_o" es usualmente mayor de G KTB, de aquí que F es mayor que 1.

De la relación (2.35), la potencia del ruido a la salida del amplificar, es:

$$N_o = GFKTB \quad (2.36)$$

y reordenando la (2.36)

$$N_o = GKTB + GFKTB - GKTB = GKTB + (F-1) GKTB$$

$$N_o = G\{KTB + (F-1)KTB\} \quad (2.37)$$

la expresión (2.37), se la representa en la Figura (2.15).

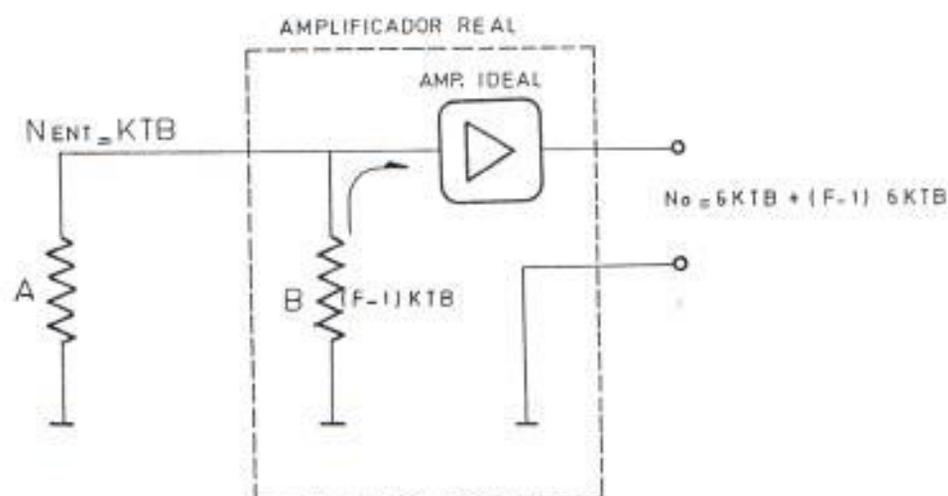


FIGURA 2.15
 REPRESENTACION EQUIVALENTE DE RUIDO
 DE UN CIRCUITO

La fuente de ruido A es la entrada, la fuente B representa la contribución del circuito al ruido de la salida.

Esta definición es importante ya que en cuanto a ruido se refiere, la parte de radio entre la antena y la salida del amplificador de frecuencia intermedia puede ser considerada como un amplificador, el hecho que el mezclador (MIXER) del receptor cambia la frecuencia, no cambia la situación, ya que lo que hace es llevar el ruido

a un lugar diferente en el espectro de frecuencia.

2.3.2 ACCION DEL RUIDO SOBRE LA MODULACION

El ruido aleatorio tiene muchos componentes de variaciones de frecuencia y amplitud complicadas; para simplificar haremos el análisis con una sola frecuencia.

El vector de ruido V_n está a continuación del vector de portadora V_r , tal como se muestra en la Figura (2.16).

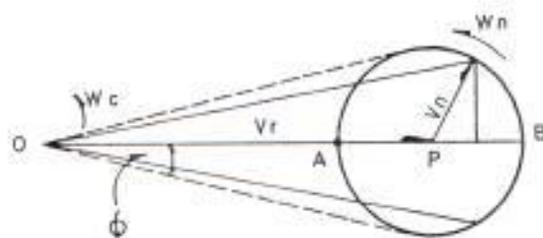


FIGURA 2.16

DIAGRAMA VECTORIAL DEL RUIDO TERMICO

V_r rota alrededor del origen 0 con velocidad angular $W_c = 2\pi f_c$.

V_n rota alrededor del punto P con velocidad angular

$$\omega_n = 2\pi f_n$$

Si consideramos a V_r estacionario, V_n rota alrededor de P con una velocidad: $\omega_n - \omega_c = 2\pi(f_n - f_c)$; la amplitud del vector resultante varia de OA hasta OB, la fase varia de $-\vartheta$ hasta ϑ .

En otras palabras la portadora sufre una modulación de amplitud de V_n/V_r y frecuencia de $(f_n - f_c)$ y modulación de fase con índice de ϑ , al mismo tiempo.

La componente de modulación de fase es demodulada por el discriminador de frecuencia y transformada en ruido de salida; la componente de modulación de amplitud es removida en el limitador y no afecta a la salida cuando la amplitud del ruido V_n es mucho menor que la portadora V_r , se cumple lo siguiente:

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{V_n}{V_r} \approx \frac{V_n}{V_r}$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{V_n \sin 2\pi(f_n - f_c)t}{V_r + V_n \cos 2\pi(f_n - f_c)t}$$

$$\vartheta = \frac{V_n}{V_r} \sin 2\pi(f_n - f_c)t \quad V_r \gg V_n \quad (2.38)$$

El discriminador de frecuencia extrae la velocidad de variación de fase, es decir, el valor que es proporcional a la desviación de frecuencia.

2.3.3 RUIDO TRIANGULAR

El ruido de salida es proporcional a la desviación de frecuencia, entonces de (2.38), tenemos:

$$\frac{1}{2\pi} \frac{d\theta}{dt} = \frac{V_n}{V_r} (f_n - f_c) \cos 2\pi (f_n - f_c) t \quad (2.39)$$

Esta ecuación muestra que el ruido de salida es proporcional a la diferencia de frecuencia entre f_n y f_c y a la razón de amplitud de ruido para la amplitud de portadora y que tiene una frecuencia de $(f_n - f_c)$, a esto se le llama ruido triangular, por lo tanto la información que ocupa las frecuencias altas será mas afectada que las otras por este ruido, como se puede apreciar en la Figura (2.17).

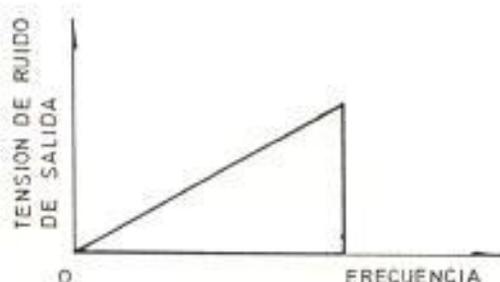


FIGURA 2.17

ESPECTRO DE FRECUENCIA DE RUIDO EN SISTEMA FM

2.3.4 RELACION SEÑAL RUIDO

La potencia de ruido trasladada a la entrada del receptor, es la siguiente:

$$P_n = KTBF \quad (2.40)$$

Donde:

K = constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/°K

T = temperatura absoluta °K

B = ancho de banda efectiva del receptor (Hz)

F = factor de ruido en el receptor

Consideramos a este ruido como plano en el espectro de frecuencia y dentro de la banda, la potencia de ruido está dentro de $2 \Delta f$ (Δf corresponde al ancho de banda de un canal telefónico, 3,1 KHz), ya que se consideran ambos lados de la portadora, entonces:

$$P_n = KTF \cdot 2 \Delta f \quad (2.41)$$

La máxima desviación de fase causada por el voltaje de ruido V_n , el cual corresponde a una potencia de ruido P_n , es descrita por medio del voltaje de portadora, el cual corresponde a una potencia

de recepción P_r , o sea:

$$\vartheta_n = \frac{V_n}{V_r} = \sqrt{\frac{P_n}{P_r}} \quad (2.42)$$

donde se requiere que se cumpla $V_r \gg V_n$

Mientras que el índice de modulación de FM, el cual corresponde al máximo cambio de fase en modulación de fase, es:

$$\vartheta_s = \frac{\sqrt{2} S_o}{f} \quad (2.43)$$

donde:

f = frecuencia modulante

S_o = desviación de frecuencia efectiva

La relación señal-ruido está dada por la división, elevada al cuadrado de estas desviaciones.

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\vartheta_s}{\vartheta_n} \right)^2 = 10 \log \left\{ \left(\frac{\sqrt{2} S_o}{f} \right)^2 \frac{P_r}{P_n} \right\}$$

$$S/N = 10 \log \frac{P_r S_o^2}{KTF \Delta f (f)^2} \text{ dB} \quad (2.44)$$

Cuando P es representado en dBm, F en dB, $K=1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$, $T = 300^\circ\text{K} (=27^\circ\text{C})$ y $\Delta f = 3,1 \text{ KHz}$, la ecuación (2.44) es transformada de la siguiente manera:

$$S/N = (P_R)_{dBm} - (F)_{dB} - 10 \log_{10} K T \Delta f + 10 \log \left(\frac{S_o}{f} \right)^2$$

$$S/N = 139 + (P_R)_{dBm} - (F)_{dB} + 20 \log_{10} \left(\frac{S_o}{f} \right) \quad (2.45)$$

Los S/N dados en (2.44) o (2.45) son valores no cargados sofometricamente y sin énfasis. Cuando el énfasis es utilizado según recomendación del CCIR 275-1, hay una mejora en 4 dB y cuando es expresado en forma ponderada, el S/N es mejorado en 2.5 dB, entonces la expresión (2.45) quedaría:

$$S/N = 139 + (P_R)_{dBm} - (F)_{dB} + 20 \log \frac{S_o}{f} + (ENFASIS)_{dB} + 2.5 \quad (2.46)$$

De (2.46) notamos que:

- 1) Cuando el nivel de entrada de la banda base se incrementa la desviación efectiva S_o se incrementa.
- 2) Mientras más alta la frecuencia, S/N tiende a bajar.
- 3) Mientras más alta sea la potencia de recepción, mayor será el valor de S/N.
- 4) Si F es pequeño, más alto sera S/N.

2.3.5 UMBRAL DE MEJORA FM

En el sistema de frecuencia modulada, la información está dentro de los cambios de frecuencia y esta detección de información es posible siempre y cuando la amplitud de la señal exceda a la de ruido, este nivel de potencia en el receptor es ocho veces mayor que la potencia de ruido y es conocida como umbral de mejora de FM y viene dado por la expresión

$$P_u = 8 K T B F \quad (2.47)$$

P_u = umbral de mejora de FM

Cuando la potencia de entrada en el receptor es reducida bajo este nivel, la relación S/N que es proporcional al nivel de entrada se degrada rápidamente.

2.3.6 RUIDO DE INTERMODULACION NO LINEAL

La intermodulación es la modulación entre sí de las frecuencias componentes de una onda compleja, lo que produce nuevas ondas cuyas frecuencias equivalen a las sumas y diferencias de multiples integros de las frecuencias de la

onda compleja original, está relacionada con la no linealidad de los circuitos de transmisiones.

La no linealidad es encontrada, no solo en características de amplificadores, sino también en características de desviación de frecuencia Vs señales de banda base de moduladores y demoduladores de frecuencia. Cuando esto ocurre se producen armónicos de segundo, tercero, cuarto, etc., orden que pueden caer dentro del ancho de banda al cual están operando, resultando el final en ruido.

2.3.7 RUIDO DE INTERMODULACION LINEAL

La distorsión lineal es producida por la característica imperfecta de fase y/o amplitud de una línea de transmisión FM, y no está relacionada con el nivel de entrada; este tipo de intermodulación está dividido en dos partes:

- 1) DISTORSION DE FASE
- 2) DISTORSION DE AMPLITUD

La distorsión de fase se produce cuando la una señal pasa a través de un sistema cuya relación entre fase y frecuencia es no lineal, y si

recordamos que el espectro de frecuencia de una onda modulada en FM tiene muchas componentes, y al pasar por un sistema como este, su salida estará afectada por distorsión en fase.

La distorsión de amplitud es producida por la característica no lineal de la respuesta amplitud de frecuencia de algunos circuitos por la que pasa la señal modulada en frecuencia.

CAPITULO III

FUENTES PRINCIPALES DE DISTURBIO EN UN RADIO ENLACE

3.1 DISTORSION LINEAL

3.1.1 DISTORSION POR ATENUACION

La atenuación por distorsión (respuesta de frecuencia), aparece en las unidades de banda base de el modulador o demodulador y es causado por filtros limitadores de banda y componentes que dependen de la frecuencia; principalmente inductores, transformadores y capacitores de acoplamiento y desacoplamiento, por ejemplo amplificadores. El efecto es una frecuencia que depende de la ganancia del sistema dentro de la banda base, con niveles que decrecen en cada uno de los extremos de la banda.

3.1.2 DISTORSION POR RETARDO

El origen de la distorsión por retardo es el mismo citado en 3.1.1.

En resumen podemos decir que los problemas de

la distorsión lineal están relacionados con el diseño en si de los equipos.

3.2 INTERFERENCIA POR SEÑAL UNICA

3.2.1 PRODUCTOS DE INTERMODULACION Y SUS ARMONICAS

La intermodulación entre señales sinuzoidales discretos, los cuales son transmitidos continuamente en un radio enlace, así como sus armónicas de baja frecuencia pueden crear señales indeseables dentro de la banda de frecuencia de las señales deseadas; ejemplo de señales discretas son piloto continuo, señales telegráficas que se generan en el sistema de supervisión.

Estos disturbios están siempre presentes, sean que el sistema lleve o no tráfico; productos de intermodulación adicional se pueden crear por lo pilotos y tonos de señalización relacionados con el sistema de multiplexación.

3.2.2 SEÑALES ESPUREAS GENERADAS POR LAS FUENTES DE ENERGIA INTERNA Y EL TRANSMISOR.DE RADIO

La fuente de enrgía interna del radio está diseñada

como un convertidor dc/dc operando a frecuencias de alrededor de 20 KHz o más, con el objeto de minimizar las pérdidas internas, el tiempo de subida de la onda rectangular es pequeño, generando un gran número de armónicas, a la vez la primera armónica como aquella de orden elevado pueden caer dentro del rango de frecuencia de la banda base y aparecen como señales de interferencia audible durante una conversación telefónica.

El mismo efecto puede ser observado en las frecuencias de RF, que son generadas a partir de bajas frecuencias y que por etapas multiplicadoras llegan a frecuencia portadora. Las frecuencias y sus armónicas generadas por las diferentes etapas multiplicadoras pueden por intermodulación generar señales espúreas, cuyas frecuencias estén dentro del espectro transmitido por el transmisor, después en el receptor; en la etapa de demodulación, podemos observar la interferencia. También puede ocurrir intermodulación entre las frecuencias multiplicadoras y las señales espúreas que provienen del oscilador de 70 MHz (modulación indirecta) y aparecer este mismo efecto.

Para evitar interferencia por señales espúreas

un diseño cuidadoso y un sistema interno de tierra es esencial para corregir este efecto.

3.2.3 INTERFERENCIA ENTRE CANALES

La interferencia entre canales surge de otros canales de radio (incluyendo el canal de radio dentro del mismo bastidor). Estas interferencias pueden ser causadas por señales en canales adyacentes, canales en la misma frecuencia (canal común), y canales que caen dentro de la banda de transmisión del receptor, pero que no son canales comunes. Los tipos de interferencias más comunes, son:

INTERFERENCIA EN EL TRANSMISOR

Es definida como interferencia entre transmisores alojados dentro del mismo bastidor. En la Figura (3.1), podemos observar esto; debido a las altas frecuencias (RF) involucradas, el peligro de acoplamiento parásito entre equipos de radio colocados junto, es obvio. Si decimos que la señal (RF) de interferencia es f_x , del transmisor T1, al transmisor T2 difiere por 70 MHz de señal (RF) del transmisor T2 (puede ocurrir esto cuando se utiliza el canal de RF f_x y el canal $f_x +$

10 de acuerdo a la recomendación del CCIR número 385), el producto de intermodulación entre , y la señal de 70 MHz que alimenta a T2, será:

$$f_{\pm} \pm 70\text{MHz} = 7498 - 70 = 7428 \text{ MHz} = f_2'$$

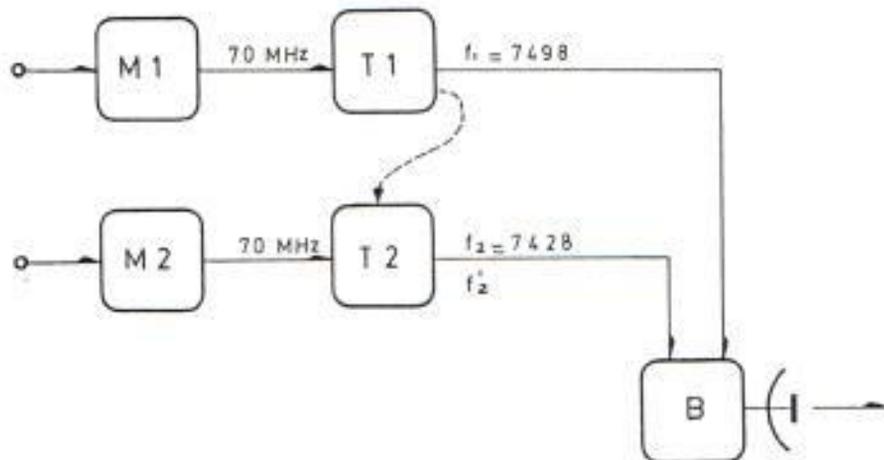


FIGURA 3.1

INTERFERENCIA ENTRE CANALES EN EL
TRANSMISOR

Es decir que f_2' tiene la misma frecuencia de T2, puesto que f_2 y f_2' provienen de diferentes osciladores pueden diferir en frecuencia unos cuantos KHz, en la parte receptora, R2 recibe f_2 y f_2' después de la demodulación aparece una señal discreta e inestable de interferencia en la banda base.

También otras Frecuencias que se han desviado de la frecuencia central de RF, debido a la frecuencia intermedia (70 MHz) pueden ocasionar este mismo efecto. Este efecto también puede ser observado entre transmisores y receptores o receptores colocados en el mismo bastidor para evitar este fenómeno, las unidades que son fuente de señales de interferencia deben estar en cajas blindadas y los cables que las interconectan deben tener muy baja pérdida, así como las frecuencias de los osciladores deben ser estables (oscilador controlados por cristal).

INTERFERENCIAS EN EL RECEPTOR

Las señales de interferencia que provienen de otros enlaces resultan en señales de disturbio en el receptor.

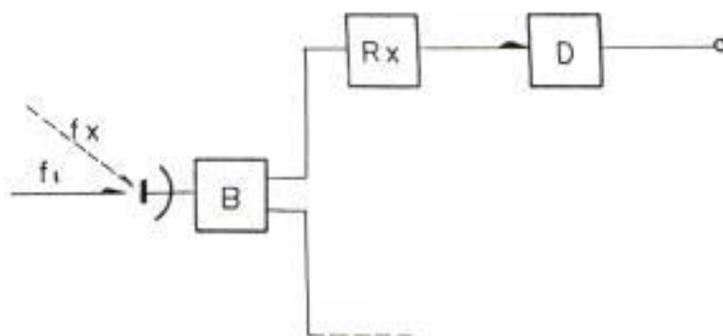


FIGURA 3.2

INTERFERENCIA EN EL RECEPTOR

Estas interferencias ocurren:

- Si la frecuencia de la señal de disturbio está cerca de la frecuencia del oscilador local.
- Si la frecuencia f_x es nominalmente la misma que la frecuencia deseada f_1 (interferencia con el canal común), o si la frecuencia f_x cae dentro de la banda de transmisión del receptor.
- Si la frecuencia es la misma de la frecuencia imagen de la señal deseada.

3.3 RUIDO TERMICO EN LA RECEPCION

El ruido térmico en la recepción es principalmente generado en la etapa de entrada del receptor y depende de:

- La tecnología y el diseño de el receptor expresado por el factor de ruido.
- El nivel de la señal de radio frecuencia a la entrada del receptor, esto es la atenuación del trayecto entre transmisor y receptor.

Solo la atenuación entre transmisor y receptor pueden ser influenciado por el esfuerzo que se halla hecho en la planificación; aquí es necesario

planear la trayectoria del radio enlace cuidadosamente a fin de conseguir un nivel de RF elevado, y de esta manera mejorar la relación S/N; esto se lo puede ver en la relación (2.46), tal como se a visto la distribución espectral de ruido es triangular (siempre y cuando no se halla previsto una red de pre/de emphasis). Sin embargo, el nivel de entrada de RF depende de las condiciones de propagación; variaciones de estas condiciones (desvanecimientos) causan variaciones en el nivel de entrada de RF y como consecuencia variaciones en el ruido térmico en la recepción. El nivel de entrada de radio frecuencia, ya sea durante el desvanecimiento o durante el tiempo libre de desvanecimiento no depende de la cantidad de tráfico que lleve la portadora ni del tipo de tráfico, pero si depende del tipo de equipo (diseño), la longitud del radio enlace, la ganancia de antena, la altura de la antena, el tipo de terreno, condiciones metereológicas, la frecuencia del radio, etc. En otras palabras depende del diseño de ingeniería.

3.4 RUIDO BASICO EN EL MODEM Y EN EL EQUIPO DE RADIO

El ruido básico es independiente de la carga que esté llevando el sistema, está siempre presente; es generado principalmente en el amplificador de

banda base, a la cabeza del modulador, el oscilador de radio frecuencia, el amplificador de frecuencia intermedia del receptor.

La distribución espectral de ruido es particularmente ruido blanco, y particularmente debido a $1/f$, donde $1/f$, es una distribución espectral de ruido opuesto al ruido triangular (es decir que la cantidad de ruido decrece conforme crece la frecuencia de banda base); por lo tanto, el ruido $1/f$ contribuye principalmente a la parte baja de la banda base, y la sub-banda base. Este ruido es generado en los osciladores de radio frecuencia y en los amplificadores de banda base, y la cantidad de potencia de ruido generada depende el diseño del circuito, la calidad de los componentes usados y el diseño del sistema.

3.5 RUIDO DE INTERMODULACION (RI)

Cuando las señales multiplexador en frecuencia, son transmitidas, señales de interferencia, se originan de la misma señal transportada, y que no caen dentro del mismo canal, sino que aparecen como ruido en canales telefónicos adyacentes. La expresión intermodulación es utilizada aquí para todo tipo de disturbios, ya sea causados por no

linealidad del equipo o por distorsión de retardo de grupos o por eco, el ruido de intermodulación depende de la cantidad de tráfico con que se halla cargado el sistema y del tipo de tráfico enviado.

3.5.1 RI GENERADO EN EL MODEM Y EL EQUIPO DE RADIO

Aquí se presentan diferentes fuentes de ruido:

a) DISTORSION DE ARMONICA Y PRODUCTOS DE INTERMODULACION

La distorsión de armónicos y los productos de intermodulación son generados principalmente en las unidades de banda base. Una de las fuentes, son componentes no lineales junto con insuficiente reserva de sobrecarga (disturbios de este tipo también pueden ser generados en las unidades de IF y RF). Una segunda fuente es la no linealidad de las características de los moduladores y/o demoduladores en las unidades de modulación de frecuencia.

Otra fuente puede ser la etapa de entrada del receptor, esta es diseñada para un cierto nivel nominal de entrada. El desvanecimiento normalmente

resulta en un decrecimiento del nivel de entrada de RF, pero también puede ocurrir un incremento de este nivel (desvanecimiento positivo).

Si el diseño de ingeniería con respecto al tramo, está hecho de tal manera que en los tiempos libres de desvanecimiento, el nivel llega a un punto de sobrecarga del nivel de entrada en el receptor de RF, puede causar intermodulación.

b) DISTORSION POR RETARDO DE GRUPO

La distorsión por retardo de grupo es causado por los dispositivos de banda limitada en radio frecuencia y frecuencia intermedia.

A fin de decrecer el nivel de umbral en los detectores no coherentes, tales como discriminadores de frecuencia en sistemas de FM, son utilizados filtros de banda estrecha.

Características de fase no lineales o retardo de grupo no constante en estos filtros causan ruido de intermodulación (principalmente en la parte alta de la banda base); en un equipo de radio enlace por FM.

Este tipo de distorsión puede ser reducido en gran manera por un buen diseño de igualadores de retardo de grupo.

La distorsión por retardo de grupo puede ser igualada en partes por medio de igualadores fijos, construídos en diferentes unidades. Debido al acoplamiento de la impedancia en la interconexión de las diferentes unidades en el equipo de radio enlace y también por la conexión del equipo con la guía de onda y el sistema de antena, distorsiones de retardo de grupo son añadidos, por lo tanto se hace necesario realizar una igualación final durante el alineamiento del radio enlace.

c) LIMITACION DEL NUMERO DE BANDAS LATERALES EN LOS FILTROS PASABANDA DE FRECUENCIA INTERMEDIA (FI)

Debido a razones tecnológicas, la selección principal y final de la señal deseada de entre todas las señales presentes a la entrada del receptor es llevado a cabo por filtros pasabanda de FI. Estos filtros estrechos en banda, mantienen el nivel de umbral o un nivel bajo, pero al mismo tiempo restringen las bandas laterales.

Para una señal modulada por ángulo, la información está contenida en el número de bandas laterales, colocadas simétricamente alrededor de la frecuencia portadora y dependiendo del ancho de banda de los filtros, un cierto número de bandas laterales, pueden pasar. Mientras mas bandas laterales pasen, mejor es la calidad de la señal demodulada, es decir menor será la distorsión; pero este objetivo se contradice con el requerimiento de mantener un bajo nivel del umbral, el cual demanda una banda estrecha, de aquí entonces la ubicación en un punto medio de compromiso, por ejemplo para 960 canales el CCIR recomienda que el filtro de FI tenga un ancho de banda de 35 MHz.

d) CONVERSION AM A FM EN LAS UNIDADES DE RF Y FI

Debido a los disturbios durante la transmisión, la señal modulada en frecuencia puede llevar superpuesta una señal modulada en amplitud esta componente de AM puede ser cortada en los circuitos limitadores de amplitud en el demodulador. Sin embargo, antes del limitador (pero también en el propio limitador), otros circuitos pueden convertir la modulación de

amplitud en modulación de fase. Este tipo de no linealidad da origen a uno de intermodulación similar al causado por distorsión de retardo de grupo en los filtros de FI.

3.5.2 RI GENERADO EN EL SISTEMA DE ANTENA POR ECO

Por sistema de antena se entiende el montaje de todos los componentes que va desde la salida del equipo de radio hacia arriba, donde se incluye: alimentadores tales como cable coaxial o guía de onda, conectores de cable y guía de onda, guías de onda flexible y la propia antena.

Debido al desacople en la interconexión el conductor de alimentación y la antena (punto de reflexión P1 en la Figura 3.3), una parte de la señal de RF es reflejada de vuelta al radio (línea punteada). El desacople entre el equipo y el alimentador (en P2) refleja una parte de esta señal de eco otra vez a la antena (línea punteada), donde la mayor parte de ella es emitida, pero retardada en el tiempo con respecto a la señal original por dos veces el retardo en el alimentador. El desplazamiento de fase en los puntos de reflexión tienen que ser sumados a esto. La amplitud del eco es relativamente

atenuada con respecto a la señal original; la atenuación depende del grado de desacoplamiento y la atenuación del conductor de alimentación.

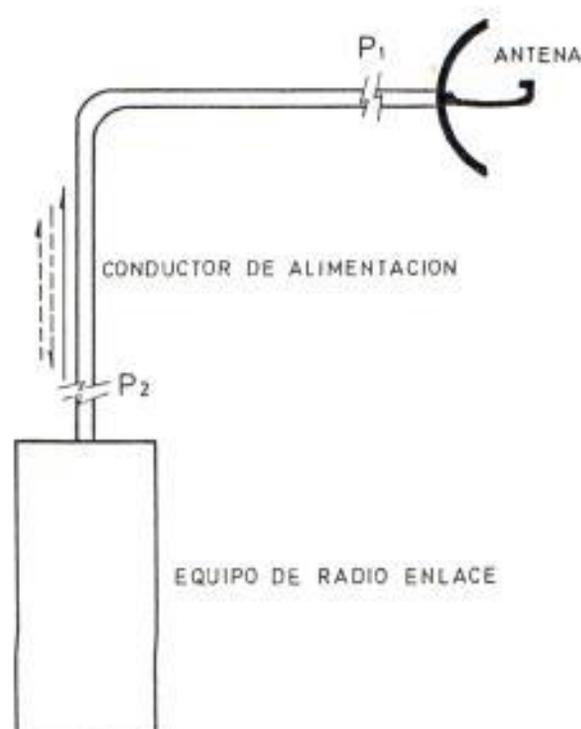


FIGURA 3.3

DESACOPLAMIENTO ENTRE ANTENA Y CONDUCTOR
DE ALIMENTACION

En el lado de recepción la señal retardado es detectada junto con la señal deseada, causando ruido de intermodulación. Si el cable de alimentación de antena consiste de un solo tramo

(cable coaxial y ciertos tipos de guía de onda), heterogeneidades en la impedancia característica del alimentador causa ecos que se originan del mismo cable. Si el cable es construido en secciones de guía de onda y codos, cada reborde en la conexión contribuye al eco. Los puntos de reflexión en un cable o guía de onda están distribuidos estáticamente en toda su longitud.

3.5.3 RI GENERADO POR REFLEXION DE LAS ONDAS EN LA TIERRA

El ruido inducido por las ondas de radio reflejadas en la tierra no difiere de los descritos en los items anteriores. La diferencia está en el punto de reflexión en alguna parte de la tierra, que puede estar constituido por superficies reflectoras sobre la tierra entre el transmisor y la antena receptora, Figura 3.4. Pero también por edificios y pendientes de montañas a un lado del radio enlace o entre ellas; especialmente para bajas frecuencias de radio ($< 4\text{GHz}$), la contribución del RI debido al retardo de las ondas reflejadas puede ser considerable, en casos severos puede ser

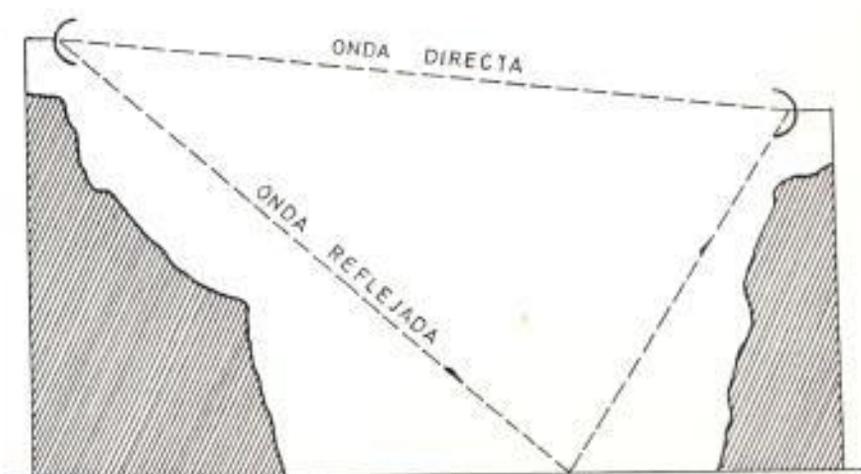


FIGURA 3.4
 DOS CAMINOS DE PROPAGACION DEBIDO
 A LA ONDA REFLEJADA EN LA TIERRA

La parte dominante de todo el ruido de intermodulación; otra diferencia de la distorsión por retardo de eco descrito en 3.5.2 es que la cantidad de energía reflejada no es causada por desacoplamiento de impedancia, en vez de eso depende de los siguientes parámetros:

- Frecuencia de radio
- Existencia del punto de reflexión a través del tramo.
- Desplazamiento de fase y pérdidas en el punto de reflexión.

- Angulo de incidencia
- Angulos de polarización de la superficie reflectora
- Tiempo de retardo entre el haz director y reflejado.
- Discriminación de la antena
- Ancho de banda del receptor

Las precauciones que deben ser tomadas para evitar o minimizar esta clase de distorsión por retardo de eco concierne a la planificación en ingeniería, y son:

- Selección del sitio, el cual no debe estar expuestos a ondas reflejadas.
- Instalación de la antena a una altura tal que una onda reflejada no sea recibida por la antena (unos cuantos metros de diferencia pueden ser importantes).
- Selección de las antenas con alta atenuación en los lóbulos secundarios, de tal manera la onda interferente sea considerablemente atenuada.

3.5.4 RI INDUCIDO POR PROPAGACION MULTIPLE

La propagación múltiple es causada por reflexiones y refracciones en las capas atmosféricas en la troposfera; esto da lugar a diferentes comportamientos (véase Figura 3.5).

- Las ondas directas y reflejado (o refractado) son sumadas.

Si los ángulos de fase están en oposición, la señal de entrada en el receptor puede ser reducida (desvanecimiento), y si coinciden, la señal puede ser intensificada. La cantidad de incremento o decremento depende además, de la relación de ángulos, de la amplitud de las ondas reflejadas; causando cambios de ruido térmico en el receptor (véase la Sección 3.3). Si la señal directa y una onda adicional son de igual amplitud y opuestas en fase, la señal puede desaparecer completamente. Si las mismas ondas están exactamente en fase, la intensidad se incrementará 6 dB.

Puesto que las ondas reflejada (o refractada), pueden retardarse con respecto al haz directo, distorsión por retardo de eco puede llegar a

ocurrir.

En principio, la distorsión por retardo de eco inducida por propagación múltiple no difiere de las descritas en las secciones previas, la diferencia está en que no es estable ni con respecto al tiempo, ni a su localización

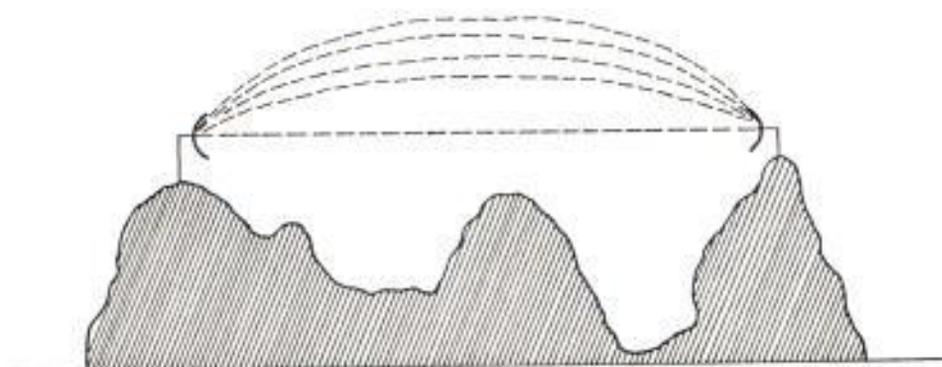


FIGURA 3.5

PROPAGACION MULTIPLE A TRAVES
DE LA TROPOSFERA

dentro de frecuencia en la recepción. Puede permanecer un corto tiempo en cierta zona de la banda, de pocos milisegundos a algunos segundos, y luego saltar de frecuencia en la banda de recepción.

3.6 RUIDO IMPULSIVO

Las fuentes de ruido impulsivo, son principalmente:

- RUIDO IMPULSIVO GENERADO POR LOS CARGADORES POR LOS CARGADORES DE BATERIA.

- RUIDO IMPULSIVO GENERADO FUERA DEL EQUIPO Y CAPTADO POR EL RECEPTOR DE LA ANTENA, POR EJEMPLO EL QUE PROVIENE DEL SISTEMA DE ENCENDIDO DE LOS CARROS Y CAMIONES O GRANDES EQUIPOS DE SOLDADURA ELECTRICA.

Para la transmisión audible, esa interferencia impulsiva puede subjetivamente perturbar al abonado, aún cuando la contribución al ruido total es despreciable, de aquí que no se lo suele tomar en cuenta en los cálculos básicos de ruido en ingeniería (cálculos de tramo).

Cuando señales telegráficas son transmitidas en canales vocales, el ruido impulsivo puede causar errores en los caracteres. Para bajar el efecto del ruido impulsivo se debe colocar la antena lo más alto posible y decrecer el ancho de banda de FI con una baja desviación de frecuencia.

3.7 OTRAS FUENTES DE DISTURBIO

Cuando un radio enlace está operando, y al transcurrir el tiempo e presentan alteraciones que desmejoran la calidad de operación del sistema, estas se deben, por ejemplo, a la corrosión de los soportes de las antenas desviándolas de su posición original, lo que va a ocasionar una disminución de la señal P_r en el receptor, aumentando de esta manera el ruido.

En la Estación Invernal, con mucha frecuencia se introduce agua en los cables coaxiales, y en algunos casos debido al tiempo de servicio algunas antenas se han corroido, esto y otros factores ocasionan una disminución de la relación S/N.

3.8 CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente, podríamos decir que existen dos fuentes de ruido principales en un radio enlace; el ruido térmico y el ruido por intermodulación.

El RI aparece solo cuando el sistema está cargado y se genera principalmente en el modem, el equipo de radio (Tx y Rx), en el sistema de antena, así como por ondas reflejadas durante el enlace, este ruido se suma al ruido térmico y al ruido básico

propio del sistema. El ruido térmico aparece principalmente a la caída de la señal en la recepción (Pr).

CAPITULO IV

PARAMETROS FUNDAMENTALES QUE SE MIDEN EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACE TELEFONICO

4.1 TIPOS DE PRUEBAS

El objetivo principal de un radio enlace telefónico es llevar información de un lugar a otro; para ello utiliza un sistema como el de la Figura 4.1.

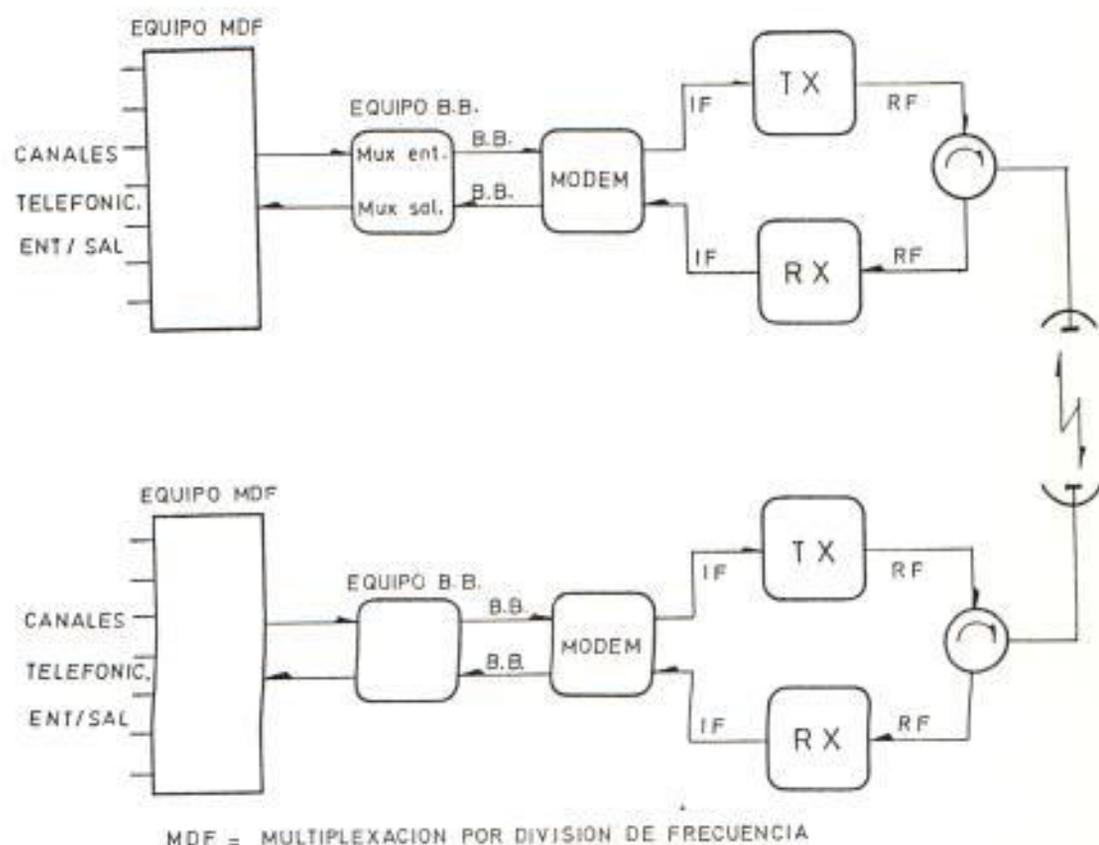


FIGURA 4.1

ESQUEMA DE UN RADIO ENLACE TELEFONICO

Este es un sistema de lazo abierto, lo cual implica que su habilidad para ejecutar su trabajo con exactitud, está determinado por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida, con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

Debido a que el sistema está constituido por elementos activos (semiconductores), sus parámetros fundamentales necesitan ser chequeados y reajustados, si es necesario en forma periódica.

En el mantenimiento de un sistema de radio enlace se realizan dos tipos de pruebas; local y de tramo. La prueba local se la realiza en cada una de las estaciones por donde pasa el enlace de radio; en cambio las pruebas de tramo se las realiza entre estaciones. En todo caso el objetivo final es garantizar el correcto funcionamiento del sistema, y por ende evitar el corte del tráfico telefónico.

4.2 PRUEBAS LOCALES

4.2.1 MEDICION DE NIVEL Y FRECUENCIA DE LOS OSCILADORES LOCALES

Los osciladores locales llevan la señal de FI

(70 MHz) a frecuencias elevadas (RF), o bajan de radio frecuencia a FI; un nivel correcto ayuda a que la potencia en el transmisor sea nominal y una frecuencia correcta libre de armónicas dará una salida de frecuencia correcta en el transmisor, así como evitará interferencias a otras unidades colocadas cerca del bastidor.

Las mediciones se llevan a cabo con medidor de potencia y contador de frecuencia, a las cuales se les debe introducir una señal adecuada (utilizando atenuadores), para evitar dañar los instrumentos de medición.

4.2.2 MEDICIONES DE NIVEL Y FRECUENCIA DE LOS TRANSMISORES DE RF

Un correcto nivel de transmisión, asegura en la recepción un bajo ruido térmico, ya que en gran parte depende del nivel a la entrada del receptor, así mismo una frecuencia nominal en el transmisor evita interferencias en otros canales de RF, adyacentes. Si este estuviera fuera de frecuencia; en el receptor, en la etapa de FI se perdería parte de la banda produciendo ruido en la banda base.

La medición se la realiza igual como en el caso

anterior.

4.2.3 MEDICION DE LA SENSIBILIDAD DE LOS RECEPTORES DE RF

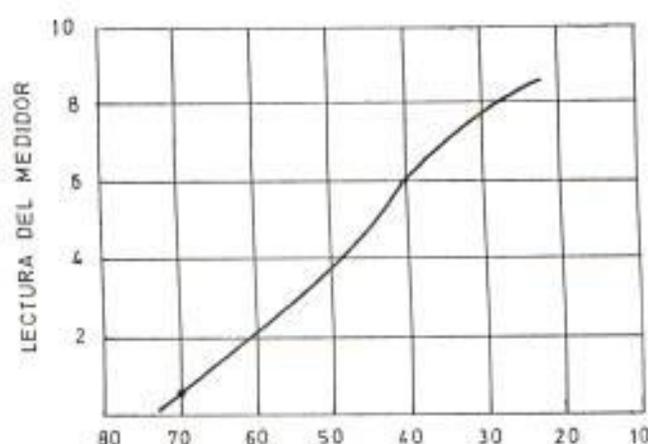
Si el nivel de recepción P_r , estuviera bueno, podría haber ruido térmico generado en la etapa de circuitería del receptor, por daño de alguna unidad del circuito.

En la mayoría de las configuraciones de los equipos, el receptor tiene asociado un medidor que indica el nivel de la señal recibida derivada de el circuito de control automático de ganancia (CAG), que se encuentra en la etapa de FI.

Como sabemos P_r es variable durante la operación del sistema (desvanecimientos).

Probamos la respuesta del receptor a variaciones de estos niveles, colocando un generador de RF en la etapa receptora (sintonizado en su respectiva frecuencia del canal), con un nivel nominal y observando las lecturas en el medidor del

bastidor, luego se baja gradualmente la potencia P_r para observar la respuesta del receptor y así se obtiene una curva de CAG (Figura 4.2).



Nivel de recepción en la entrada (dBm)

FIGURA 4.2

CURVA DE CONTROL AUTOMATICO DE GANANCIA

Una respuesta del receptor como lo indica la Figura 4.2, indicaría una correcta operación de la sensibilidad del receptor a variaciones del nivel de entrada.

4.2.4 PRUEBA DEL BESSEL CERO

En el sistema de FM, la desviación de frecuencia depende del nivel de entrada de BB., si no hay nivel la salida está fijada en la frecuencia portadora f_c .

Cualquier cambio de nivel a la entrada, causará que la frecuencia de salida se desvie de su frecuencia central en Δf_c . Entonces la sensibilidad del modulador es una medida de la desviación de frecuencia (Δf_c) producida por un determinado nivel de potencia a la entrada (P).

Para obtener la sensibilidad de modulación, se requiere medir la desviación de la frecuencia obtenida a la salida del modulador, cuando se aplica a la entrada una frecuencia modulante de nivel de potencia conocido. Esta medición se conoce como el método de "portadora nula" o "Bessel cero".

Analizando la Figura 2.10, observamos que el número de bandas laterales y las amplitudes relativas de la portadora, varían con el índice de modulación; la amplitud de la componente $J_0(m)$ en las funciones de Bessel y que corresponde a la portadora muestra que se hace cero para $m=2,405$ y valores más altos. Esta condición de la componente de la portadora, se conoce como "primer punto de desaparición de la portadora" y da una medición muy clara.

Utilizando un analizador de espectro para

determinar este primer punto de desaparición de la portadora y conociendo la frecuencia modulante f_m , se puede calcular la desviación de frecuencia de pico Δf_{pico} con la fórmula:

$$\Delta f_{\text{pico}} = m \cdot f_m \quad (4.1)$$

Ahora suponiendo que la desviación de frecuencia del modulador estuviera especificado en 200 KHz, eficaz a nivel de entrada nominal, debemos calcular la frecuencia modulante de entrada para obtener el primer punto de desaparición de la portadora en el analizador de espectro.

$$f_m = \frac{\Delta f_{\text{pico}}}{m} = \frac{\sqrt{2}(200\text{KHz rms})}{2.405} = 117,75 \text{ KHz}$$

En la Figura (4.4), observamos la configuración para esta prueba.

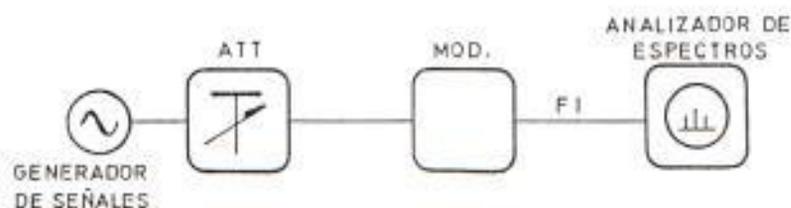


FIGURA 4.4

PRUEBA DEL BESSEL CERO

4.2.5 AJUSTE DE FRECUENCIA DEL MODULADOR

De la Figura 4.5 observamos que la frecuencia del modulador en conjunto con la frecuencia del oscilador local fijan la frecuencia de salida del transmisor.

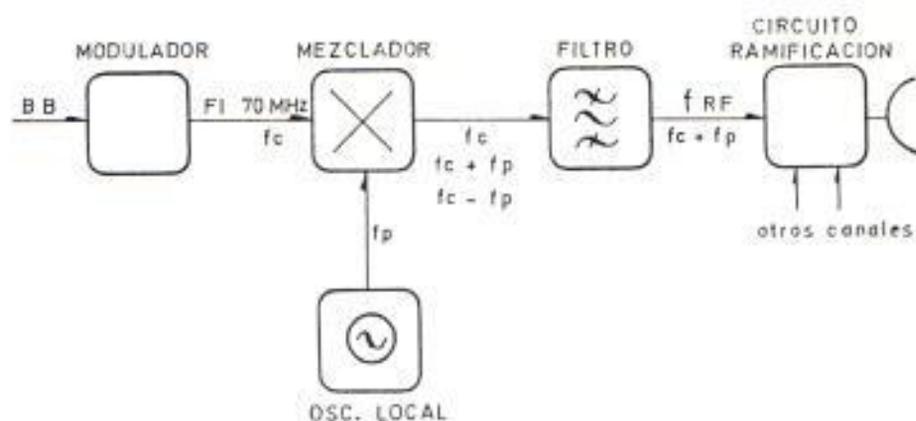


FIGURA 4.5

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRANSMISOR

Los sistemas de microondas operan con varios canales de radio (en el mismo bastidor), y de frecuencia diferentes. Debido a los problemas en la estructura de ramificación (**BRANCHING**) ó porque la frecuencia del modulador está fuera de su valor nominal, puede ocurrir interferencia de un canal sobre otro, de aquí entonces la necesidad de chequear la frecuencia del modular, de tal

manera que opere en su valor nominal.

4.2.6 PRUEBAS Y AJUSTES CON EL ANALIZADOR DE RADIO ENLACE DE MICROONDAS

La relación S/N de una señal de múltiplex de frecuencia modulada se degradará por el ruido de intermodulación causado por la respuesta no lineal en amplitud y fase de cada etapa de la línea de transmisión. El ruido total de intermodulación se mide con la prueba carga ruido que se verá más adelante, pero cada componente que introduce ruido de intermodulación en la señal transmitida se mide con el analizador de enlaces por microondas (véase la figura 4.6).

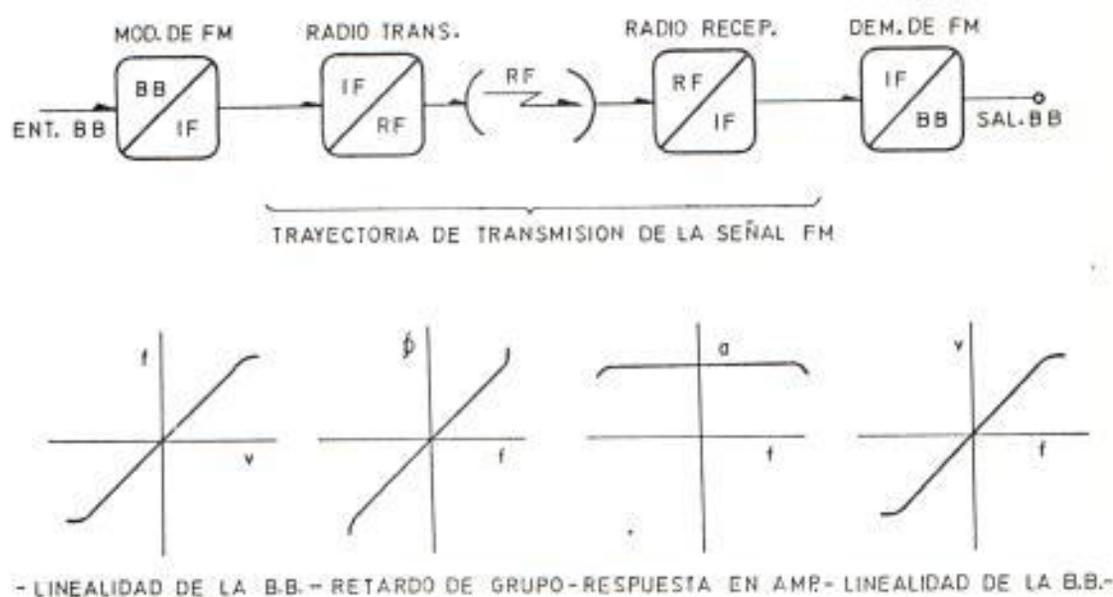


FIGURA 4.6

ETAPAS DE MEDICION QUE SE REALIZAN CON EL ANALIZADOR DE MICROONDAS

Estas mediciones fundamentales, son:

- RETARDO DE GRUPO
- LINEALIDAD DE LA BANDA BASE
- RESPUESTA DE AMPLITUD FRECUENCIA DE FI

a) RETARDO DE GRUPO

El retardo de grupo es un efecto del tiempo de tránsito (T), que es definido para un tramo de transmisión, como el tiempo requerido por un voltaje o corriente específico, para viajar a través de este tramo y está dado por la relación de desplazamiento de fase (ϑ) a la velocidad angular (ω)

$$T = \frac{\vartheta}{\omega} = \text{TIEMPO DE TRANSITO} \quad (4.2)$$

De acuerdo con esta relación, el tiempo de tránsito dependerá básicamente de la característica fase/frecuencia de un sistema de transmisión y para un tiempo de tránsito constante ésta característica tiene que ser lineal, tal como se muestra en la Figura (4.7).

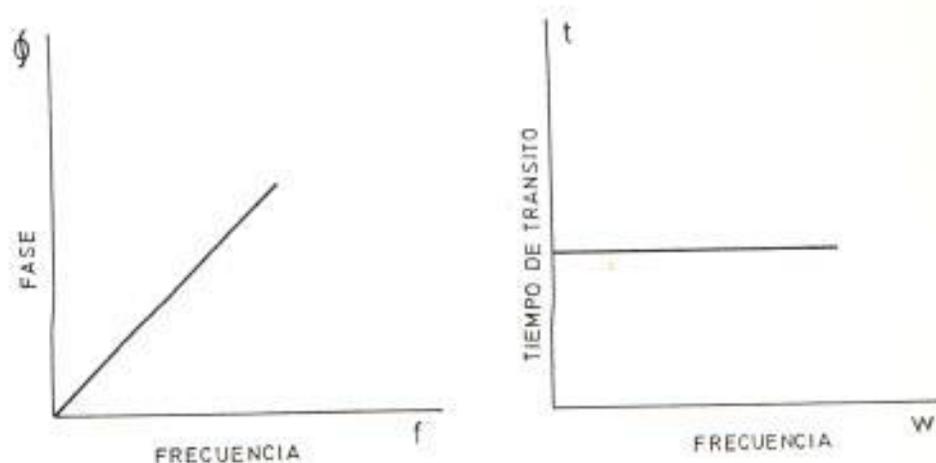


FIGURA 4.7

CARACTERISTICAS PARA UN SISTEMA DE TRANSMISION IDEAL

En la práctica, este tiempo de tránsito no es constante y por lo tanto la característica fase/frecuencia no puede ser lineal. Una medida de la distorsión de fase que ocurren debido a las variaciones del tiempo de tránsito, es el RETARDO DE GRUPO que es definido como:

$$\text{RETARDO DE GRUPO} = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (4.3)$$

Si dibujamos la derivada de la característica

fase/frecuencia obtendríamos la respuesta de retardo de grupo sobre la banda de interés. Esta puede ser mostrada por el analizador de microonda.

b) LINEALIDAD DE LA BANDA BASE (BB)

La linealidad de la BB (también conocida como no linealidades del modulador/demodulador) es una medida de la habilidad del modulador y demodulador de actuar como un transductor lineal en el proceso de FM.

En la modulación de frecuencia, la frecuencia portadora es desviada del centro de frecuencia por una señal modulante y un caso ideal esta desviación es proporcional a la amplitud de esta señal (véase Figura 4.8).

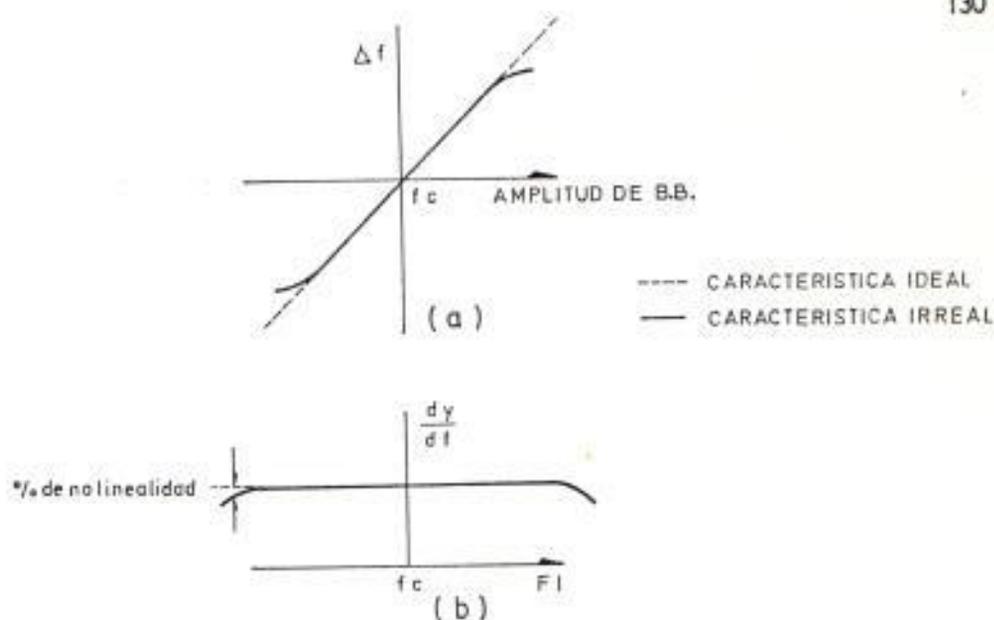


FIGURA 4.8

a) CARACTERISTICA DE UN MODULADOR

b) DERIVADA DE LA CARACTERISTICA DEL MODULADOR

En la realidad la característica de amplitud de BB/desviación de frecuencia (Δf), no será lineal y podría tener la forma de la línea continua de la Figura 4.8.a). Entonces una buena medición de la no linealidad de esta característica es tomar su derivada tal como se muestra en la Figura 4.8 b); la línea punteada de la derivada muestra el caso ideal y la línea continua el caso real.

c) RESPUESTA DE AMPLITUD - FRECUENCIA DE FI

Si una excitación sinusoidal de amplitud constante y frecuencia variable es aplicada a la entrada de un sistema, luego entonces la variación de

amplitud con la frecuencia a la salida de el sistema es lo quee denomina respuesta de amplitud, Figura (4.9).

En principio puede sonar extraño la medida de respuesta de amplitud de FI; sin embargo, ciertos dispositivos usados en los enlaces de microondas son sensibles a las variaciones de amplitud presentes, y esto puede llevar a modulaciones indeseables sobre la frecuencia portadora (70 MHz), esto es conocido como modulación AM a FM y puede ocurrir en los limitadores, mezcladores y valvulas de onda progresiva (TWT). De aqui entonces que es importante que la respuesta de amplitud de los circuitos de FI sea constante a través de todo el ancho de banda utilizado. Esta medición también se puede efectuar con el analizador de enlace por microondas.

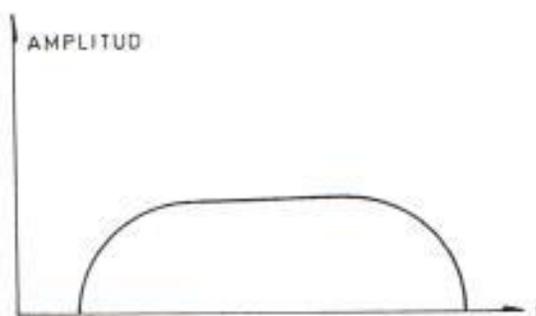


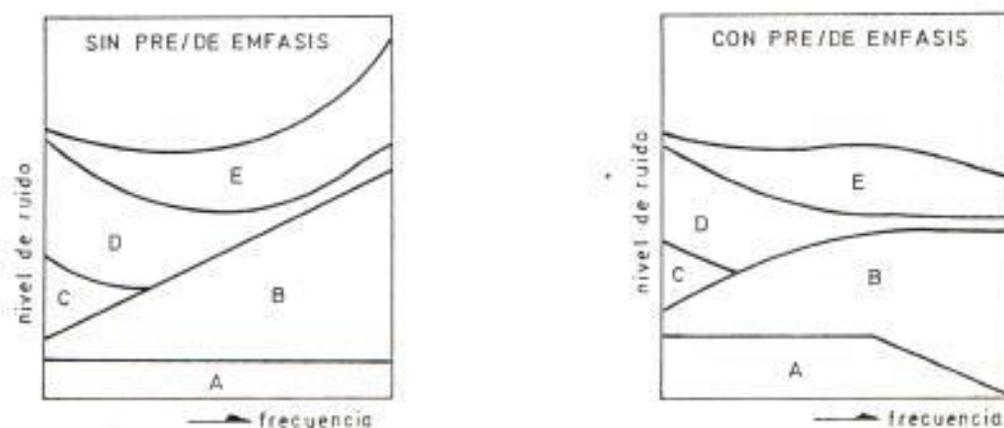
FIGURA 4.9

TIPICA RESPUESTA DE AMPLITUD DE FI

4.2.7 PRUEBAS DE RUIDO

El ruido de intermodulación generada por las diversas etapas del equipo de radio crece con el aumento de potencia de la señal de BB. En el caso de circuitos de banda básica (amplificadores de BB y modems), ocurre que con el aumento de señal esta pasa a incursionar en regiones no lineales de las características de estos circuitos. Por otro lado, un aumento de potencia causa un agrandamiento del espectro de la señal modulada, significando en estas condiciones componentes laterales localizados en puntos más apartados de la portadora, sujetas a distorsiones de fase y amplitud más severas.

La Figura 4.10 nos da una idea general de las contribuciones de los diferentes ruidos en un radio enlace (tomado de PERFORMANCE AND ITS CALCULATION BY HEINZ KARL), con y sin PRE/DE-ENFASIS.



- A = Ruido Básico
- B = Ruido Triangular
- C = Ruido $1/f$ (Generado por OSC RF y AMP de BB)
- D = Ruido de Intermodulación (Generado por los modems)
- E = Ruido de Intermodulación (Generado por RF y FI)

FIGURA 4.10
DIFERENTES FUENTES DE RUIDO EN UN
RADIO ENLACE

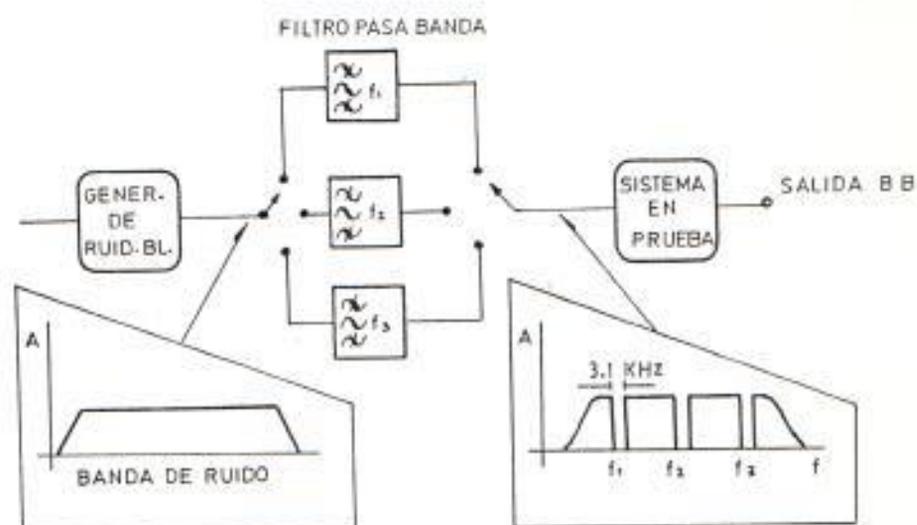
Estos diagramas muestran la condición en la cual no hay desvanecimiento de la señal, ya que en caso de que el desvanecimiento ocurra (caída de la potencia en la entrada del receptor), el ruido triangular tendera a incrementarse.

De lo visto anteriormente, por un proceso de medida conocido como PRUEBA DE CARGA CON RUIDO BLANCO, podemos evaluar el comportamiento de un canal de radio. Cuanto ruido hay presente en la BB demodulada, para diferente nivel de potencia de entrada en el modulador (diversos niveles de potencia de la señal de banda básica),

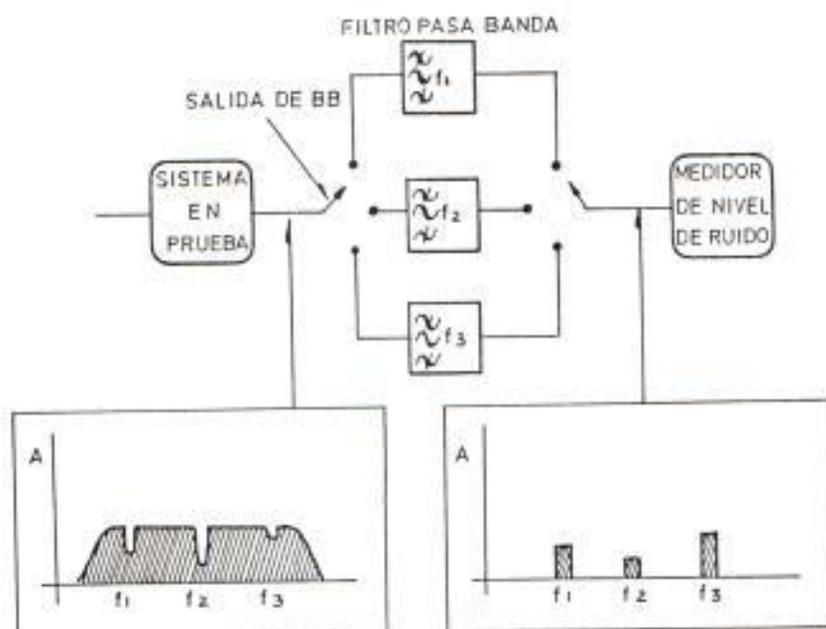
correspondiente a condiciones de menor o mayor ocupación de los canales telefónicos del múltiplex.

Puesto que una banda de ruido blanco de un ancho de banda igual a la B.B. puede simular a una señal multiplex; la prueba consiste en aplicar a la entrada del radio un generador de ruido blanco, de nivel controlado y luego variamos la potencia en torno a la potencia nominal de la BB. y a través de un proceso evaluamos el ruido de intermodulación introducido por las características no lineales del sistema.

La Figura 4.11 ilustra la realización de esta prueba localizando un determinado nivel de potencia a la salida del generador de ruido blanco y como se puede observar a través de filtros para bandas se han abierto ventanas en la banda de ruido inyectado a la entrada de la banda básica. En virtud del ruido térmico propio de los equipos y del RI resultante de las características no ideales de las diversas etapas del sistema; una determinada potencia de ruido será introducido por el sistema en las ventanas anteriormente abiertas. Para medir esas potencias de ruido recibida en las ventanas abiertas, se colocan a la salida de BB filtros



a) Obtención de la banda de ruido para medición



b) Medición del ruido que existe en cada ventana

FIGURA 4.11

MONTAJE PARA LA PRUEBA CON RUIDO BLANCO

pasa banda perfectamente sintonizados con las de transmisión (la misma frecuencia central y el mismo ancho de banda 3,1 KHz), y luego se coloca a la salida de estos filtros (uno a la vez), un medidor de potencia de ruido.

NIVEL DE CARGA DE RUIDO

El nivel de la señal multiplexada de banda ancha de la hora cargada se computa así:

$$P = -1 + 4 \log N \quad \text{para } 12 \leq N < 240 \quad (4.4)$$

$$P = -15 + 10 \log N \quad \text{para } N > 240 \quad (4.5)$$

N = Número de canales

En otras palabras, el nivel de carga ruido SL (dBm), es igual a p (dBm0), con un nivel de tono de prueba aproximado S (dBm), o sea:

$$SL = S + P \quad (\text{dBm}) \quad (4.6)$$

VARIABLES MEDIDAS

Para asegurar la calidad de transmisión, se consideran las siguientes variables a medir en la parte receptora:

- a) POTENCIA DEL RUIDO
 b) RELACION DE LA POTENCIA DE RUIDO, NPR
 c) RELACION DE SEÑAL/RUIDO, S/N

a) POTENCIA DE RUIDO

En general, el ruido total (cargado) NL que existe en la ranura de ruido del receptor consta del ruido en vacio N1 y del ruido de intermodulación N2; véase la Figura 4.12.a).

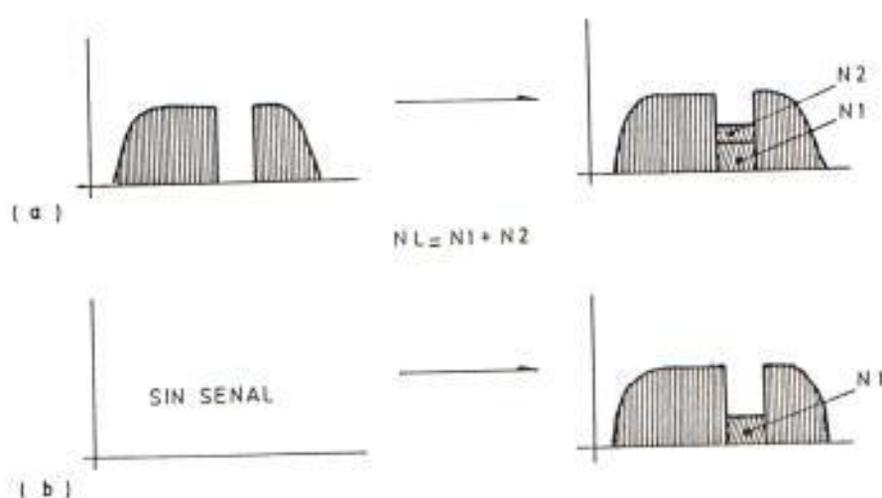


FIGURA 4.12

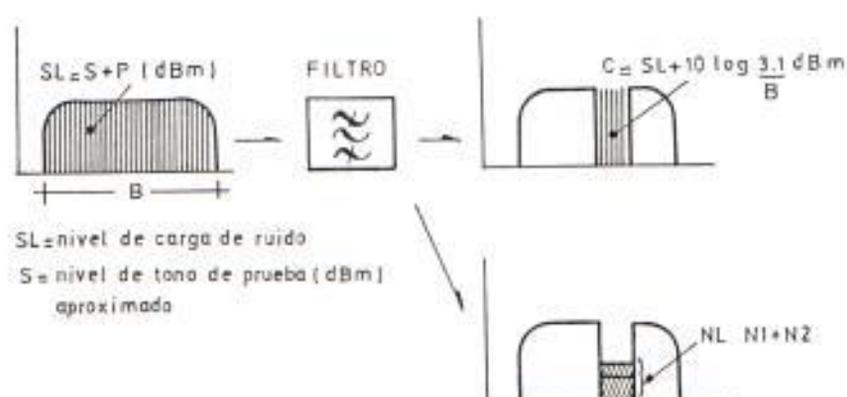
- a) Ruido total que se introduce en la ventana (NL)
 b) Ruido en vacío (N1) en la Ventana

Si no hay presente señal de prueba en el sistema a ser medido, solamente se medirá el ruido en

vacio, Figura 4.12. b), y si este ruido se resta del total se obtiene el ruido de intermodulación.

b) RELACION DE POTENCIA DE RUIDO, NPR

El NPR se define como la relación entre la potencia del canal C (dBm) y la potencia del ruido total NL (dBm), en la misma ranura, expresados en decibelios; véase la Figura 4.13



$$NPR = C - NL \quad (\text{dB}) \quad (4.7)$$

FIGURA 4.13

RELACION DE POTENCIA DE RUIDO

c) RELACION SEÑAL/RUIDO

La S/N se define como la relación entre el nivel

del tono de prueba S (dBr) y la potencia del ruido total NL (dBm) que entra en la ranura de ancho de banda de 3,1 KHz, y se expresa en decibelios.

$$S/N = S - NL \quad (\text{dB}) \quad (4.8)$$

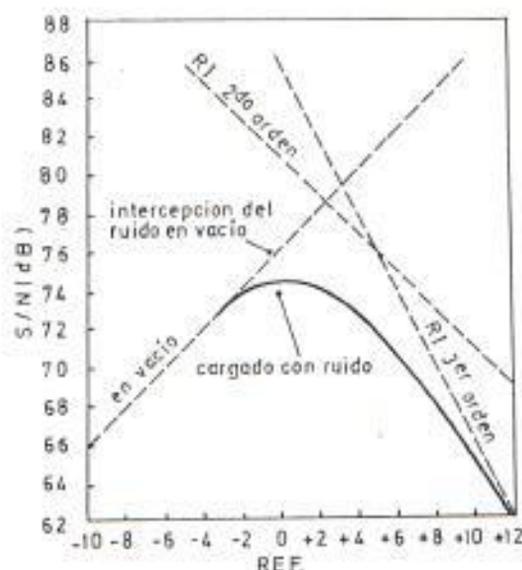
Aparte del signo algebraico, el nivel de ruido NL en dBm0, corresponde a la S/N porque la sensibilidad del receptor de ruido blanco se puede ajustar de forma tal que el nivel de tono de pruebas indique el cero a un punto de referencia a nivel relativo cero.

ANALISIS DE LA CURVA DE CARGA DE RUIDO

Como se habia mencionado la curva de carga de ruido se obtiene cambiando el nivel de carga paso a paso.

Del análisis de la curva podemos separar e indentificar las anormalidades individuales en vacio y de RI.

La curva típica que se obtiene es la que se muestra en la Figura 4.14.



Nivel relativo de carga de ruido

FIGURA 4.14

CURVA DE CARGA RUIDO

Comos se mencionó antes, esta prueba se la realiza con varias ventanas, que están localizadas en diferentes frecuencias a lo largo del espectro de la señal de BB, obteniéndose información del comportamiento de ruido en toda la BB. y de cual ruido predomina, el de vacío o el de intermodulación.

De la curva se observa, que a niveles que están debajo del nivel de referencia predomina el ruido en vacío y que conforme se aumenta el nivel de la señal, entonces ahora se hace presente el ruido de intermodulación pudiendo predominar

el RI de segundo orden o el de tercer orden.

Las pruebas locales se las realiza haciendo un "lazo" entre modulador y demodulador de un canal.

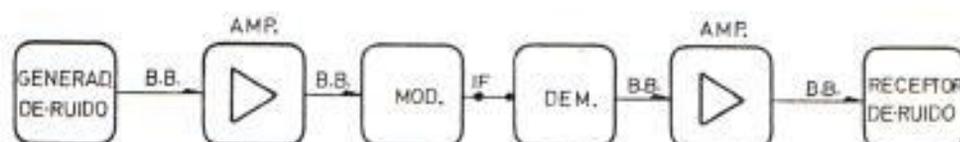


FIGURA 4.15
PRUEBA DE RUIDO

4.3.8 PRUEBAS DEL CANAL DE SERVICIO

El canal de servicio está colocado en la parte baja del espectro de la BB, y es utilizado para comunicación interna entre una y otra estación; tiene un ancho de banda de 3.1 KHz y las pruebas básicas consisten en chequear una correcta respuesta de frecuencia y nivel entre estaciones.

4.3 PRUEBAS DE TRAMO

Verificados los parametros principales en cada estación, falta entonces realizar la prueba de tramo para verificar el comportamiento del sistema

en total. La configuración de los sistemas de radio enlace es de 1 + 1, lo que implica que mientras se realizan pruebas en un canal, por el otro canal está pasando el tráfico telefónico con normalidad.

4.3.1 PRUEBAS Y AJUSTES CON EL ANALIZADOR DE ENLACE DE MICROONDAS

Las pruebas y ajustes son similares a las realizadas en las pruebas locales, solo que en este caso se las realiza en un tramo de radio enlace; véase la Figura 4.15.

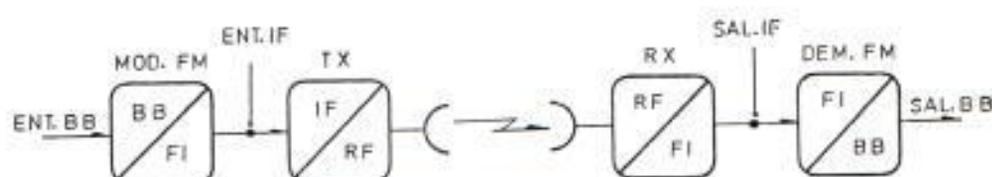


FIGURA 4.16

DIAGRAMA DE BLOQUES DE TRANSMISOR Y RECEPTOR

Las pruebas que se realizan son de FI a FI, donde

143

se prueba: la amplitud, la linealidad y el retardo del tramo, donde en la parte de recepción existen circuitos igualadores que sirven para compensar los retardos introducidos por el enlace. Otra prueba es la de BB-BB, es decir se introduce señal de BB en el transmisor y se analiza esta señal en el receptor a nivel de BB, se prueba linealidad y retardo de grupo de todo el tramo, con esto estamos verificando que el RI sea disminuido al máximo.

4.3.2 PRUEBAS DE RUIDO

Existen dos fuentes principales de perturbación en un tramo de radio enlace; el ruido en vacío y el ruido de intermodulación.

Niveles altos de ruido de vacío puede ser producido por la contribución de alto ruido térmico debido a una señal de bajo nivel en la recepción o desviación impropia, ruido generado en el mismo radio y generado por niveles de interferencia de BB, o frecuencias imágenes en el receptor, etc.

El diagrama de flujo de la Figura 4.17 nos da una guía de como encontrar una falla originada

por el ruido en vacío. Así mismo el diagrama de flujo de la Figura 4.18 nos informa el procedimiento a seguir en caso que tuvieramos un ruido elevado debido a la carga que se coloca en el sistema. Estos diagramas lo podemos utilizar siempre y cuando se halla realizado las pruebas de ruido en el tramo, ya que estos nos indicarían cual es el ruido predominante en el radio enlace, el ruido en vacío o el ruido de intermodulación.

RV RUIDO EN VACIO

◇ BLOQUE DE DECISION

□ BLOQUE DE ACCION (retorna despues de resolver cada problema)

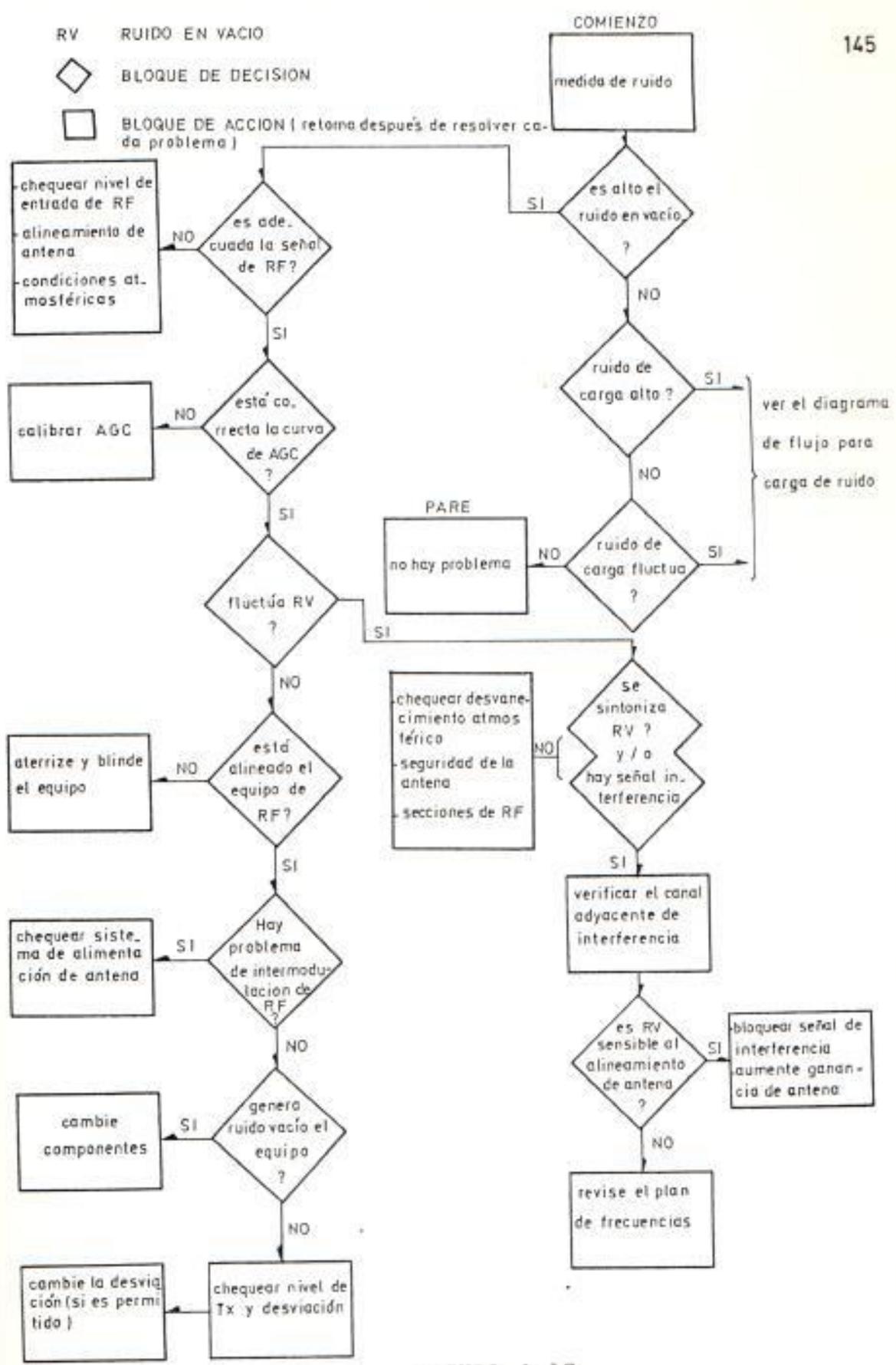


FIGURA 4.17

DIAGRAMA DE FLUJO PARA RUIDO EN VACIO

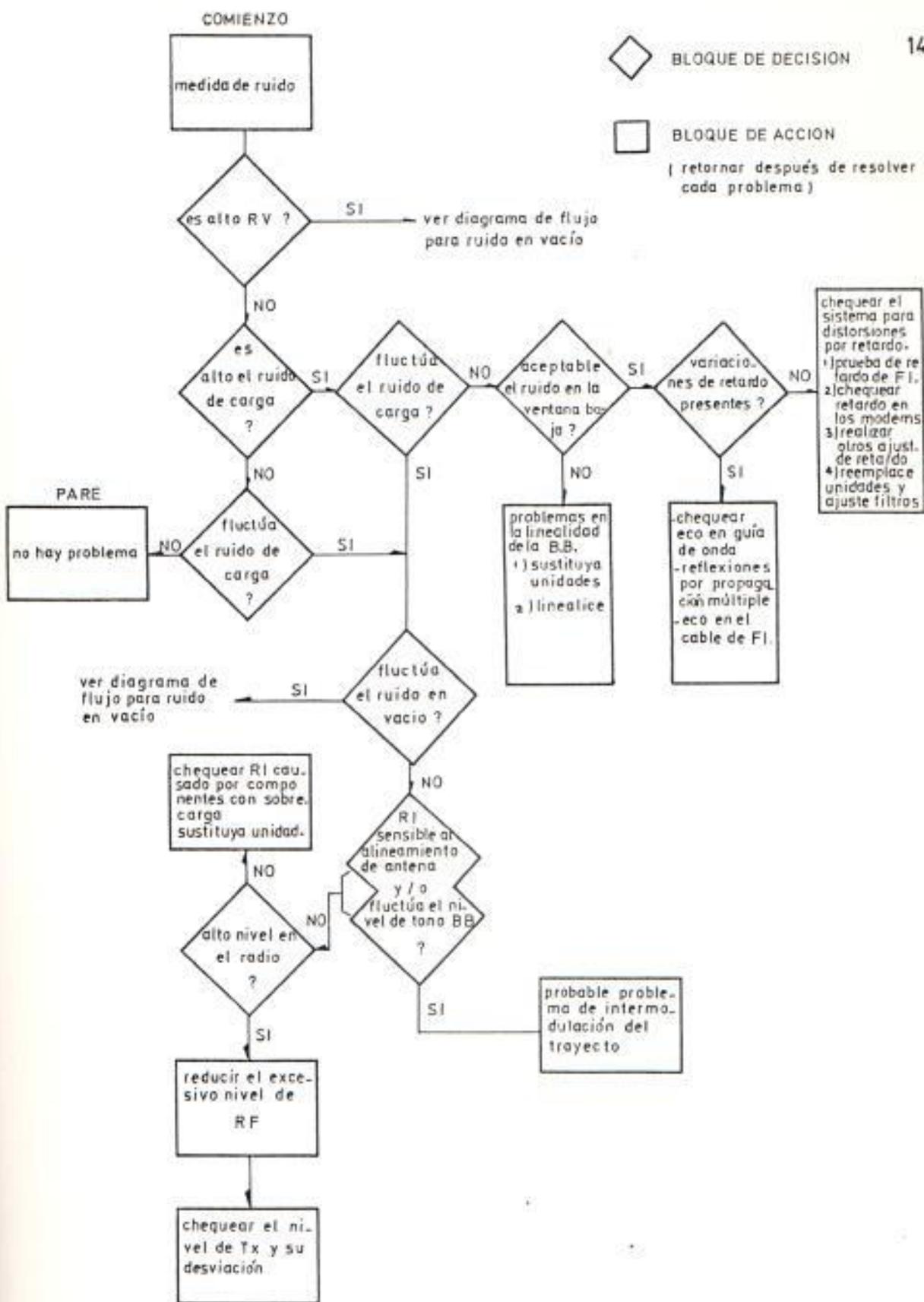


FIGURA 4.18

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CARGA DE RUIDO

4.3.3 RESPUESTA DE FRECUENCIA

Como su nombre lo indica esta prueba se la realiza para verificar una respuesta de amplitud plana a lo largo de todo el ancho de banda de la BB.

Además, con el medidor de nivel, en el lado de recepción se barre toda la banda en forma lenta con el propósito de buscar posibles señales de frecuencias fijas generadas por el radio enlace, la Figura 4.19 indica la forma como se realiza la prueba.

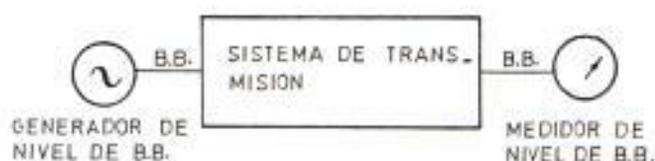


FIGURA 4.19

PRUEBA DE RESPUESTA DE FRECUENCIA EN BB

4.4 MEDICIONES EN RADIO ENLACES DE MEDIANA CAPACIDAD Y EN MONOCANALES

Los sistemas de mediana capacidad operan en la banda de 300 a 3000 MHz (UHF) y los moniocanales en la banda de 30 a 300 MHz (VHF) y su capacidad en cuanto a canales telefónicos va de 1, 24, 60 y 300. Dan servicio en pueblos y ciudades que tiene una menor cantidad de habitantes.

En general las mismas mediciones que se efectúan en sistemas de mayor capacidad se aplican en estos tipos de sistemas de menor capacidad, a excepción de los monocanales ya que estos tienen capacidad de un solo canal telefónico (4 KHz).

CAPITULO V

ANALISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN EL CAMPO

5.1 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE RADIO ENLACE GUAYAQUIL - SALINAS

Este es un sistema de microondas con capacidad de 960 canales telefónicos, la configuración del sistema es El Carmen - Animas - Salinas; siendo Animas una estación terminal por cuanto desde aquí se da servicio a otras poblaciones, tales como Playas, Posorja, etc.



FIGURA 5.1

CONFIGURACION GEOGRAFICA DE TRAMO
GUAYAQUIL - SALINAS

La figura 5.1 muestra la posición geográfica del sistema de radio enlace y la Figura 5.2 muestra el diagrama de bloques del sistema.

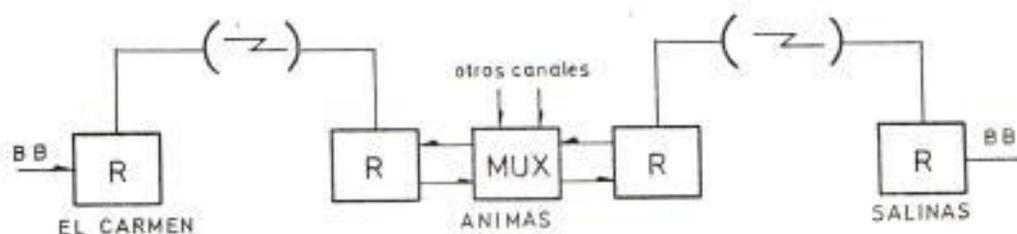


FIGURA 5.2
 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ENLACE
 GUAYAQUIL - SALINAS

5.2 ANALISIS DE LAS PRUEBAS LOCALES

Las últimas pruebas locales de mantenimiento se realizaron en enero de 1989; a continuación se muestran los resultados de las pruebas locales y de tramo en el trayecto El Carmen - Animas.

ESTACION: EL CARMEN

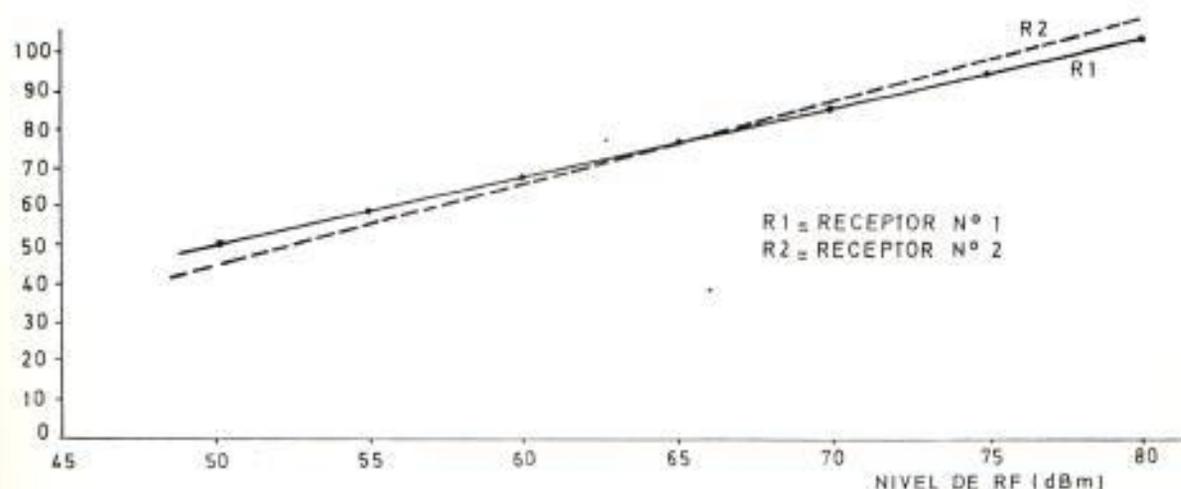
DIRECCION: ANIMAS

TRANSCEPTOR:

	Osciladores locales				OBSERVACIONES
	TX ₁	TX ₂	RX ₁	RX ₂	
Nivel Nominal (dBm)	+28,0	+28,0	+28,0	+28,0	Todo normal
Nivel Medido \pm	+28,0	+29,3	+28,0	+28,2	
Frec. Nominal (MHz)	462.502	468.33	471.98	477.89	Todo
Frec. Medida \pm 2KHz	462.502	468.334	471.98	477.89	normal

	Transmisor Receptor				OBSERVACIONES
	TX ₁	TX ₂	RX ₁	RX ₂	
Nivel Nominal (dBm)	+28	+28	-38,2	-38,2	Todo
Nivel Medido 1dB	+27,5	+29,1	-38,0	-38,1	normal
Frec. Nominal (MHz)	7470.034	7563.333	7626.48	7714.94	Todo
Frec. Medida \pm 200 KHz	7469.990	7563.357	-	-	normal

CURVA DE CAG x NIVEL DE RF A LA ENTRADA DEL RECEPTOR



AJUSTE DE SQUELCH SI

MODEM

SENSIBILIDAD

PRUEBA DEL BESSEL CERO

TONO DE PRUEBA: - 22 dBm y 117,6 KHz

MODULADOR 1: AJUSTADO

MODULADOR 2: AJUSTADO

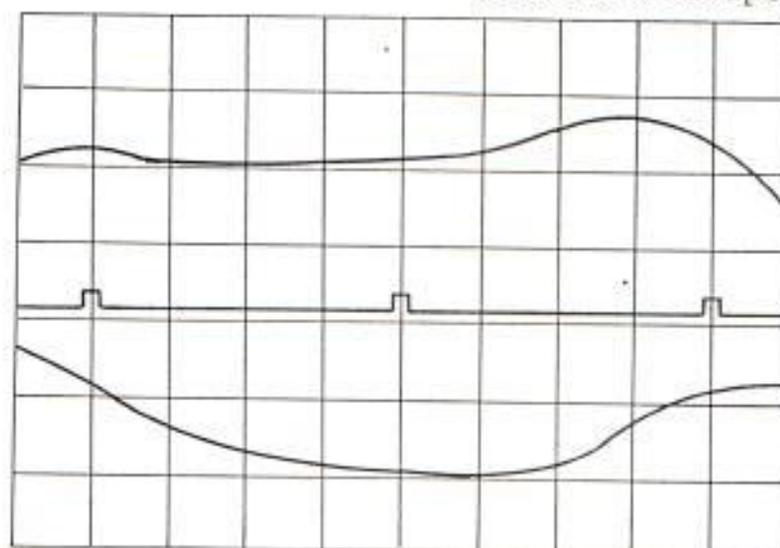
	MODULADOR 1	MODULADOR 2	OBSERVAC.
NIVEL NOMINAL (dBm)	+ 5,2	+ 5,2	Todo
NIVEL MEDIDO	+ 5,1	+ 5,0	Normal
FREC.NOMINAL (MHz)	70,00	70,00	Todo
FREC.MEDIDA ± 100 KHz	70,02	70,30	Normal

PRUEBAS CON EL ANALIZADOR DE MICROONDAS

MODULADORES

Valores Permitidos: Linialidad 1%

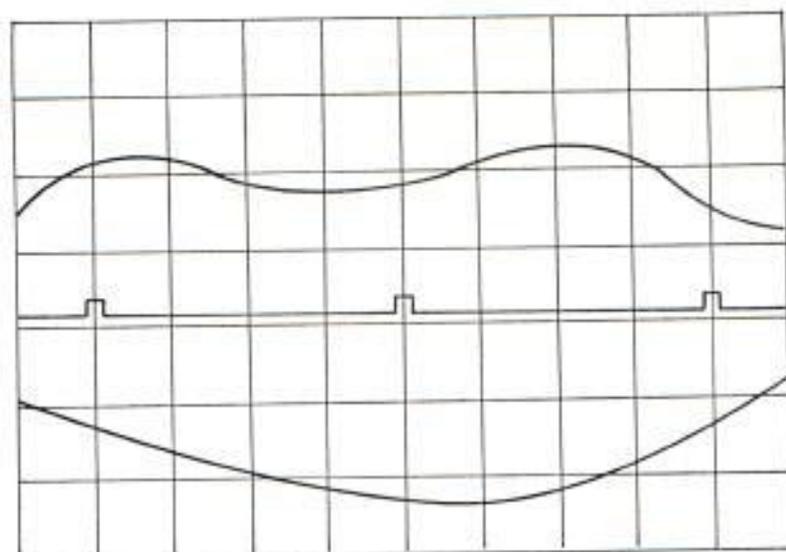
Retardo de Grupo 2 NS



MODULADOR 1

Linialidad: 0,8 %
 Retardo de grupo: 1,5 NS
 Calibración: 1%/DIV.
 1 NS/DIV.

Resultado: Curvas dentro de los límites.



MODULADOR 2

Linialidad: 0,5 %
 Retardo de grupo: 1 NS
 Calibración: 1%/DIV.
 1 NS/DIV.

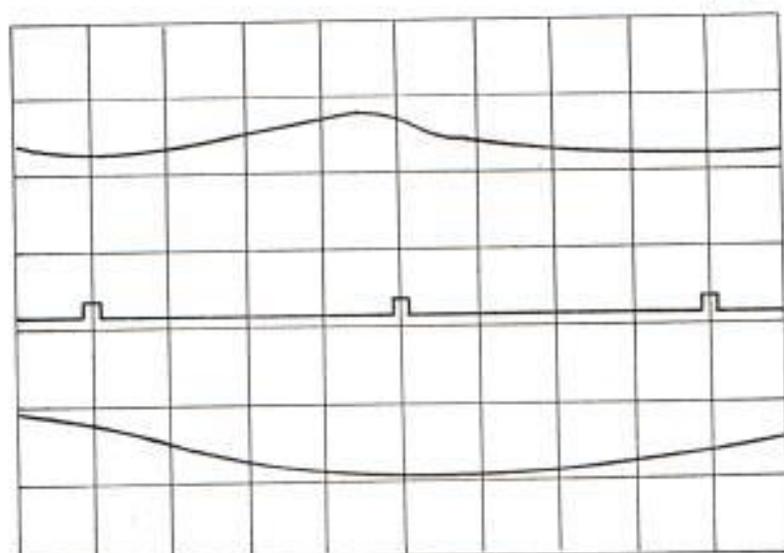
Resultado: Curva dentro de los límites.

DEMODULADORES

Valores permitidos:

Linealidad 1%

Retardo de grupo 1NS



DEMODULADOR 1

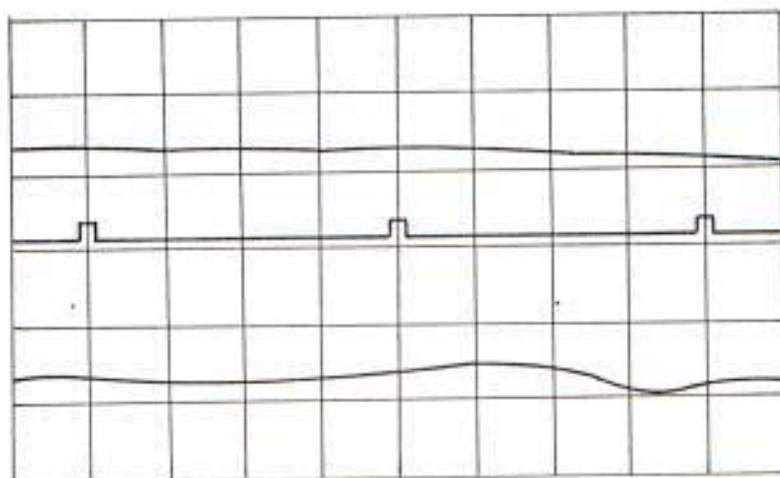
Linealidad: 0,8 %

Retardo de grupo: 0,9 NS

Escala: 1%/DIVISION

1NS/DIVISION

Resultado: Curva dentro de los límites.



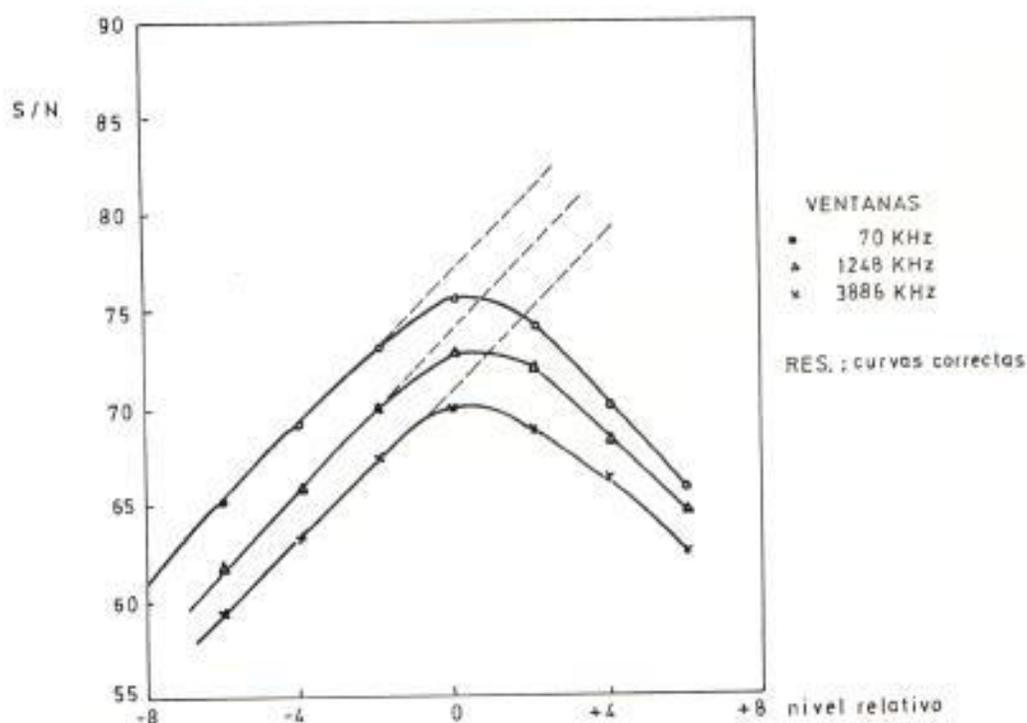
DEMODULADOR 2

Linealidad: 0,2 %
 Retardo de grupo: 0,5 NS
 Escala: 1%/DIV
 1NS/DIV.

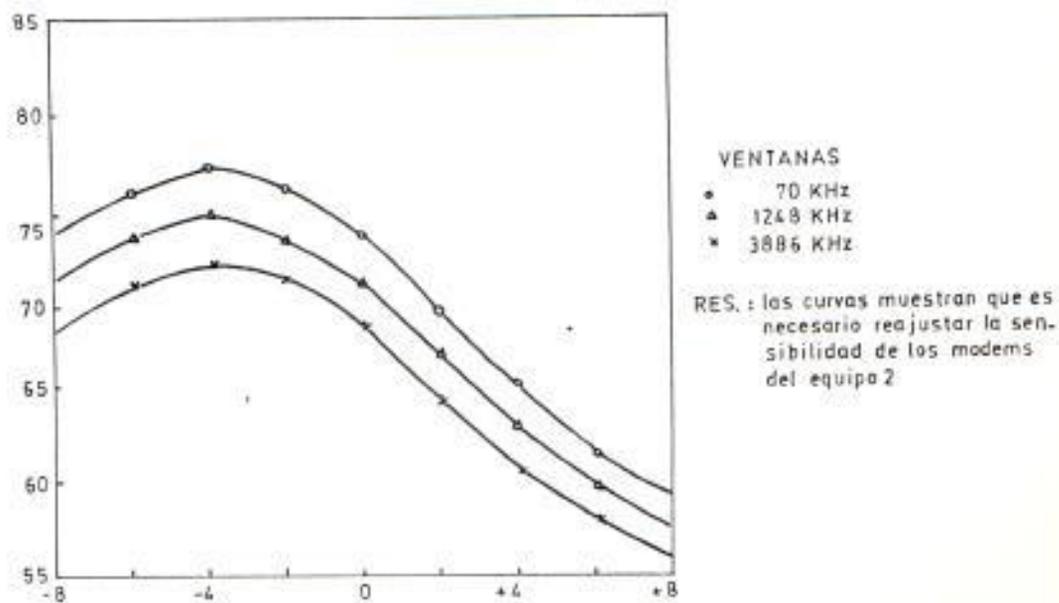
Resultado: Curva dentro de los límites

PRUEBAS DE RUIDO

Lazo cerrado en el Equipo 1



Lazo cerrado en el equipo 2



Resultado: Las curvas muestran que es necesario reajustar la sensibilidad de los Modems del Equipo 2

ESTACION: ANIMAS

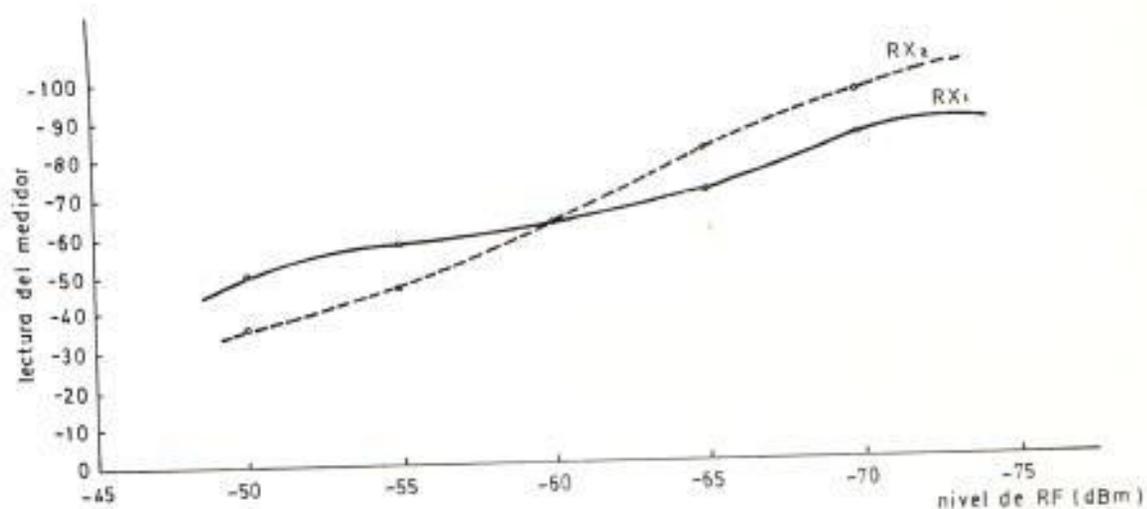
DIRECCION: EL CARMEN

TRANSCEPTOR

	Osciladores Locales				OBSERVAC.
	TX ₁	TX ₂	RX ₁	RX ₂	
NIVEL NOMINAL (dBm)	+28	+28,0	+28	+28,0	Todo
NIVEL MEDIDO	27,8	+28,6	28,8	27,7	normal
FREC. NOMINAL (MHz)	462.5021	468.3331	471.9780	477.8090	Todo
FREC. MEDIDA +2KHz	462.5032	468.3348	471.9793	477.8110	normal

	Transmisor		Receptor		OBSERVAC.
	TX ₁	TX ₂	RX ₁	RX ₂	
NIVEL NOMINAL (dBm)	+28,0	+28,0	-38,2	-38,2	Todo
NIVEL MEDIDO +1dB	+27,0	+27,5	-38,0	-39,4	normal
FREC. NOMINAL (MHz)	762.698	771.944	740.034	756.3333	Todo
FREC. MEDIDA +200KHz	762.772	771.979	-	-	normal (se ajustó)

CURVA DE CAG X NIVEL DE RF A LA ENTRADA DEL RECEPTOR



AJUSTE DE SQUELCH: SI

MODEM

PRUEBA DEL BESSEL CERO

TONO DE PRUEBA: - 22 dBm, 117,6 KHz

MODULADOR 1: AJUSTADO

MODULADOR 2: AJUSTADO

NIVELES

	MODULADOR 1	MODULADOR 2	OBSERVACIONES
NIVEL NOMINAL (dBm)	+ 5,2	+ 5,2	Todo
NIVEL MEDIDO \pm 0,5dB	+ 5,2	+ 5,1	normal
FREC. NOMINAL (MHz)	70,0	70,0	Todo
FREC. MEDIDA \pm 100 KHz	70,4	70,3	normal (se ajustó)

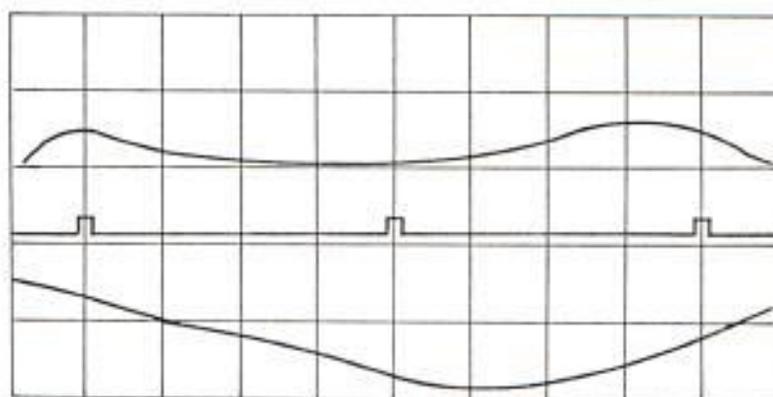
PRUEBAS CON EL ANALIZADOR DE MICROONDAS

MODULADORES

VALORES PERMITIDOS

Linealidad: 1%

Retardo de grupo: 2 NS



MODULADOR 1

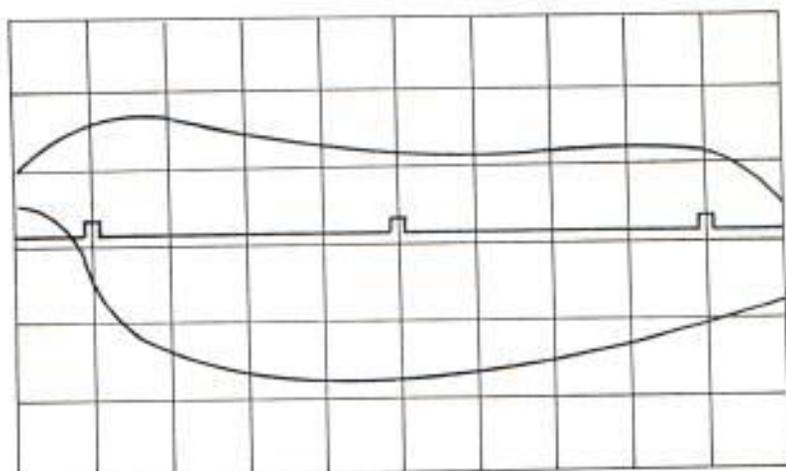
Linealidad: 0,0 %

Retardo de grupo: 1,5 NS

Escala: 1 %/DIV

1 NS/DIV

Resultado: Curvas dentro de los límites.



MODULADOR 2

Linealidad: 0,6 %

Retardo de grupo: 1,9 NS

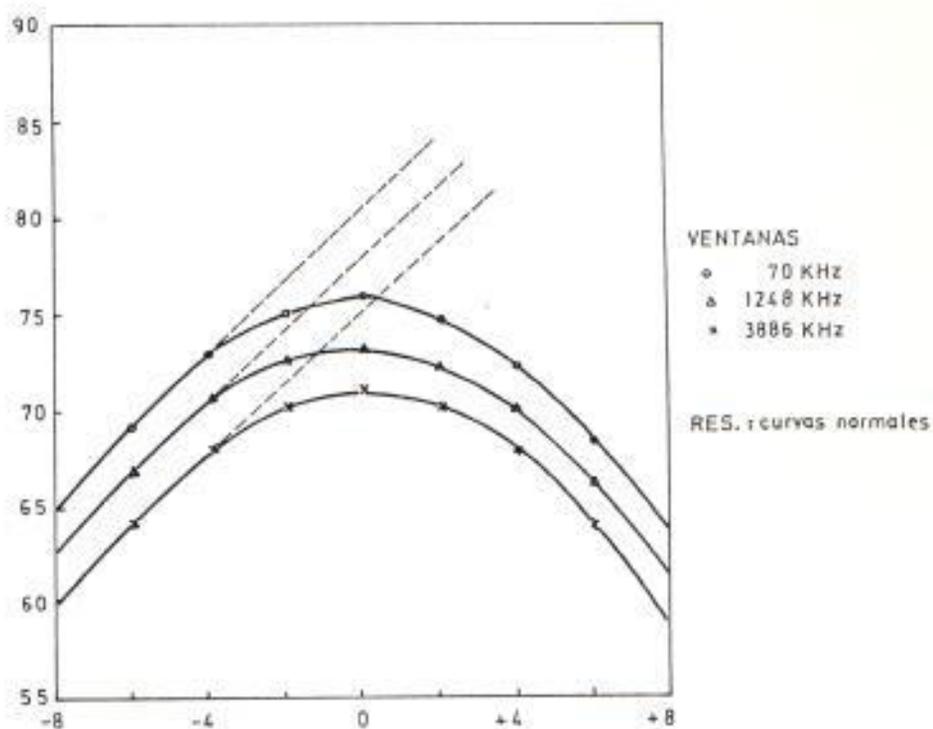
Escala: 1 %/DIV

1 NS/DIV

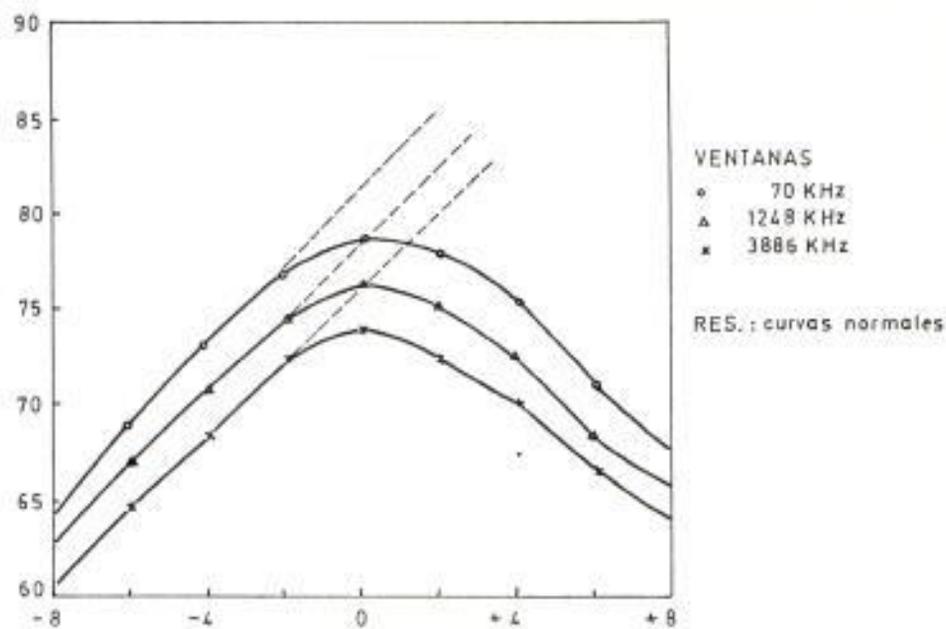
Resultado: Curvas dentro de los límites

PRUEBAS DE RUIDO

Lazo cerrado en el Equipo 1



Lazo cerrado en el Equipo 2



De la observación de los resultados de estas pruebas los parametros de los equipos de radio, tanto de El Carmen, como de Animas se encuentran dentro de los valores normales especificados por el fabricante y por las recomendaciones del CCIR, en algunos casos se realizarán pequeños ajustes, ya se en nivel, frecuencia, linealidad, retardo y sensibilidad, con el fin de normalizar el equipo.

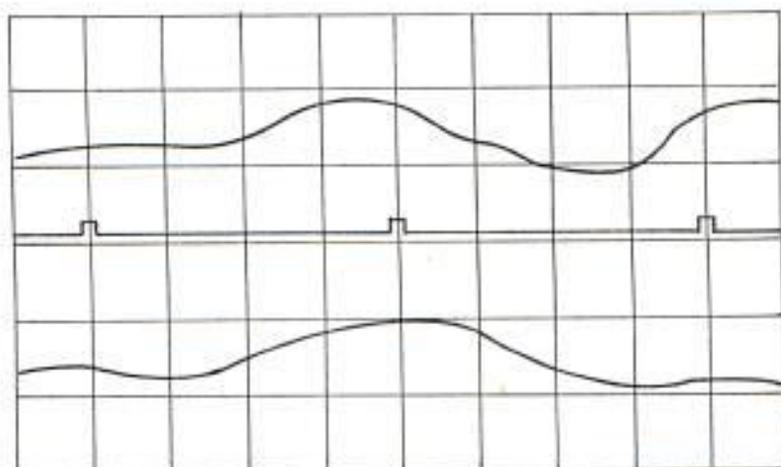
5.3 PRUEBAS DE TRAMO

Para las pruebas de tramo, primero se realiza los ajustes de retardo de grupo de FI, amplitud de FI, y linealidad y retardo de grupo de BB, luego se realizan las pruebas de ruido para verificar el comportamiento del sistema al incrementarse la carga, y por último la respuesta de frecuencia de BB.

PRUEBAS DE TRAMO CON EL ANALIZADOR DE ENLACE DE MICROONDAS

Transmisión: Animas

Recpción: El Carmen



EQUIPO 1

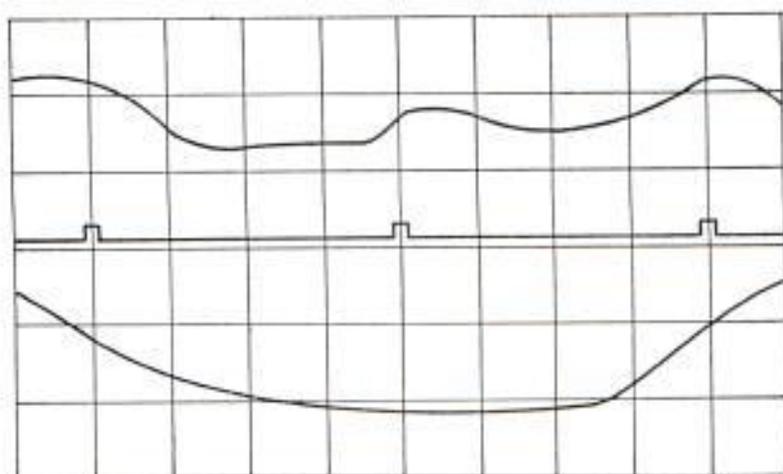
Prueba FI - IF

Amplitud de FI = 1%

Retardo de grupo = 2,9 NS

Escala: 1%/DIV

3NS/DIV



EQUIPO 2

Prueba FI - FI

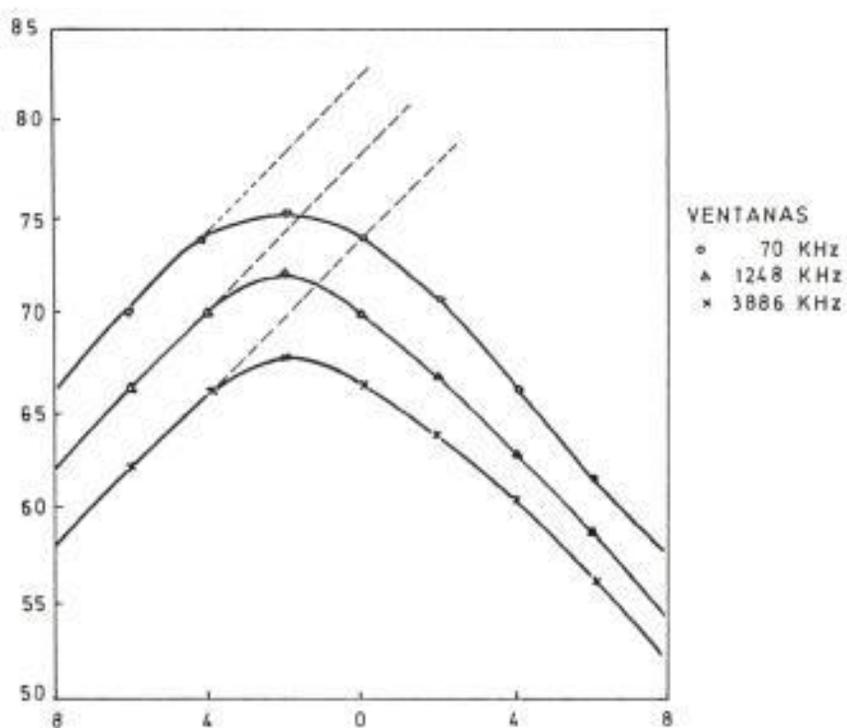
Amplitud de FI = 08 %

Reetardo de grupo = 4 NS

Escalas: 1%/DIV

3NS/DIV

PRUEBAS DE RUIDO

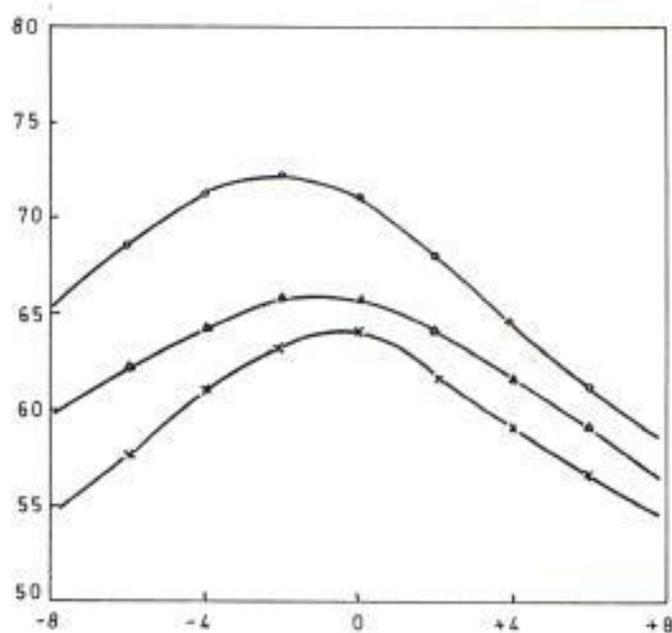


EQUIPO 1

70 KHz

1248 KHz

3886 KHz



EQUIPO 2

- o 70 KHz
- ▲ 1248 KHz
- X 3886 KHz

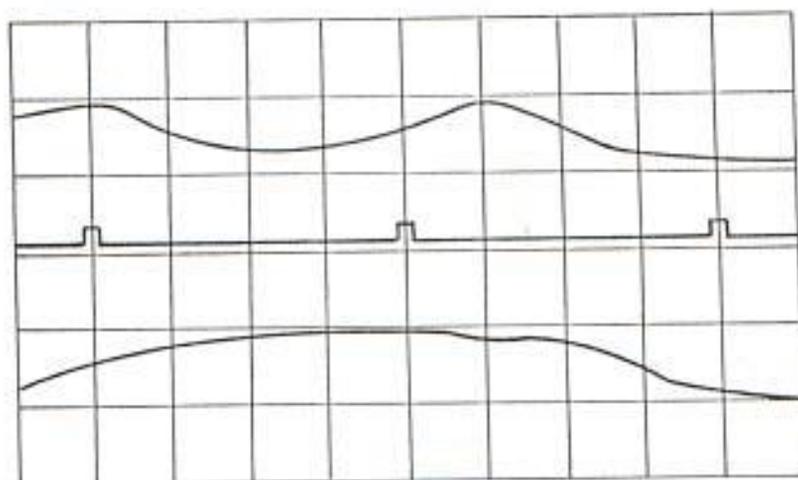
RESPUESTA DE FRECUENCIA DE BB

NIVEL DE ENTRADA: - 45 dBm/75

NIVEL DE SALIDA: - 20 dBm/75

FRECUENCIA	312	420	550	750	1000	2000	3000	4000	4200
Canal 1	-20	-20,5	-20	-20	-20	-19,8	-20	-20	-20
Canal 2	-20	-20	-20,3	-20	-20	-20,2	-20	-19,7	-20

PRUEBAS DE TRAMO CON EL ANALIZADOR DE ENLACE DE
MICROONDAS



EQUIPO 1

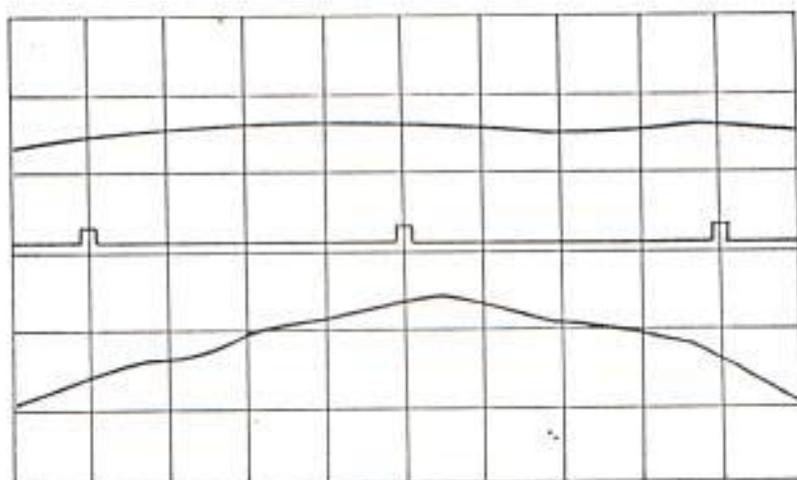
PRUEBA FI - FI

Amplitud de FI = 1 %

Retardo de grupo = 3 NS

Escalas: 1 %

3 NS



EQUIPO 2

PRUEBA FI - FI

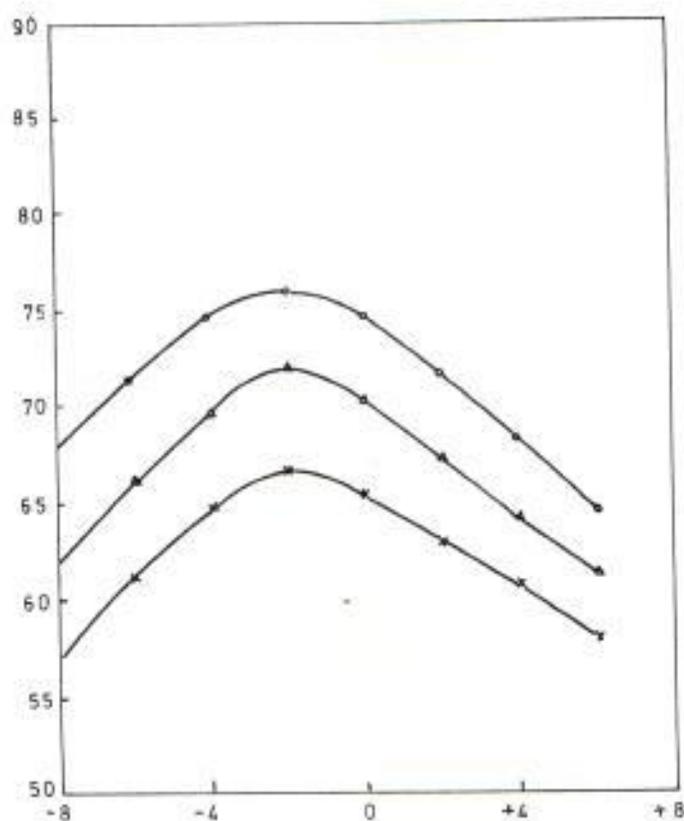
Amplitud de FI = 0,5 %

Retardo de grupo = 3,5 NS

Escalas: 1%

3 NS/DIV

PRUEBAS DE RUIDO

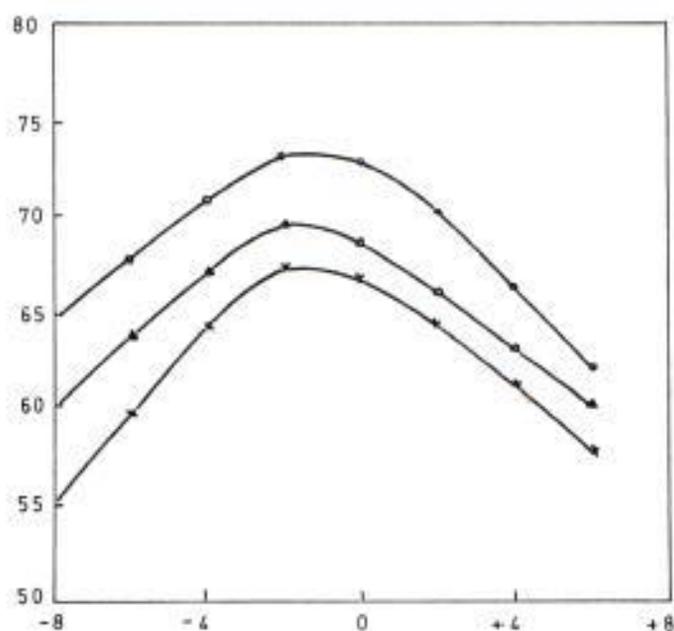


EQUIPO 1

o 70 KHz

Δ 1248 KHz

X 3886 KHz



EQUIPO 2

- o 70 KHz
- ▲ 1248 KHz
- × 3886 KHz

RESPUESTA DE FRECUENCIA DE BB

NIVEL DE ENTRADA: - 45 dBm/75

NIVEL DE SALIDA: - 20 dBm/75

FRECUENCIA	312	420	550	750	1000	2000	3000	4000	4200
Canal 1	-19,9	-20,5	-20	-20,5	-19,6	-20,5	-20	-19,8	-20
Canal 2	-20	-19,5	-20	-19,8	-19,7	-20	-19,8	-19,9	-20

TRANSMISION: EL CARMENRECEPCION: ANIMAS

5.4 CONCLUSIONES

Al realizar las pruebas locales ha permitido observar el correcto funcionamiento o no de cada uno de los parámetros fundamentales del equipo, corrigiéndolo en caso de encontrarse fallas.

Las pruebas de tramo corroboran que el sistema en su totalidad ha sido alineado, lo cual nos confirma un correcto funcionamiento del sistema.

CAPITULO VI

ORGANIZACION ESTRUCTURAL

ESTRUCTURA ORGANICA

Se entiende como estructura organica, al conjunto de las responsabilidades de gestión y sus relaciones con los diferentes órganos que la integran.

ORGANIGRAMA

Los sistemas de organización se representan en forma intuitiva y con objetividad en los llamados organigramas, conocidos también como cartas o gráficos de organización.

Consisten en hojas o cartulinas en las que cada puesto de un Jefe se representa por un cuadro que encierra el nombre de este puesto, representándose por la unión de los cuadros mediante líneas, los canales de autoridad y responsabilidad.

Estos útiles instrumentos de organización, nos revelan:

- 1.- La división de funciones
- 2.- Los niveles jerárquicos
- 3.- Las líneas de autoridad y responsabilidad
- 4.- Los canales formales de comunicación.

- 5.- La naturaleza linea o staff del Departamento.
- 6.- Los Jefes de cada grupo de empleados.
- 7.- Las diversas relaciones que existen entre los diversos puestos de la empresa y en cada Departamento o Sección.

El IETEL utiliza gráficos de organización verticales, aquí cada puesto subordinado a otro se representa por cuadros en un nivel inferior, ligados a aquel por líneas que representan la comunicación de responsabilidad y autoridad.

6.1 ORGANIGRAMA GENERAL DEL IETEL

ORGANIZACION ESTRUCTURAL DE IETEL



FIGURA 6.1

6.2 ORGANIGRAMA REGIONAL

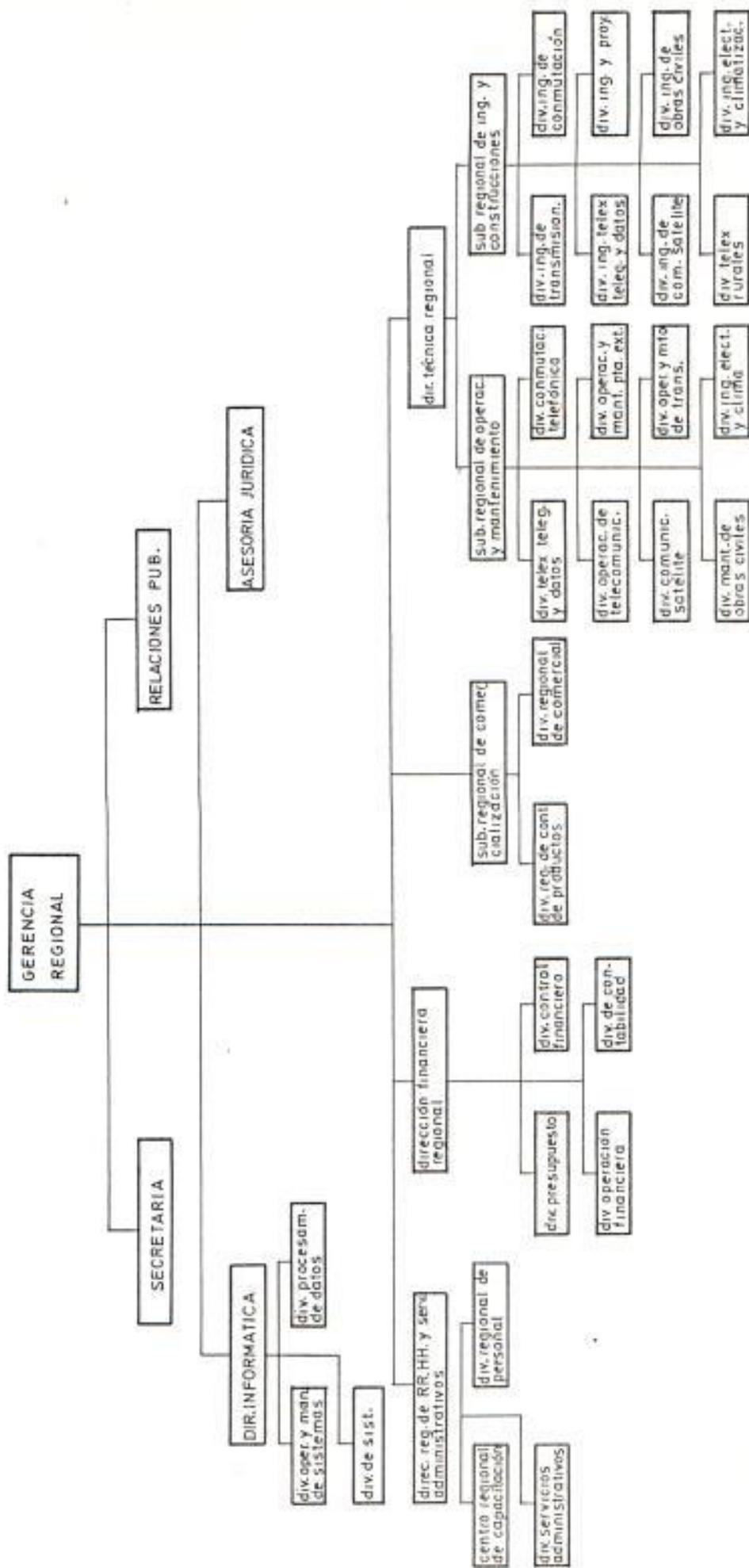


FIGURA 6.2

ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DE IETEL R 2

6.3 ORGANIGRAMA DE LA DIVISION DE OPERACION
Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIONES



FIGURA 6.3

ORGANIGRAMA DE LA DIVISION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIONES IETEL R 2

ORGANIGRAMA DE LA DIVISION DE OPERACION
Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIONES
IETEL R-2

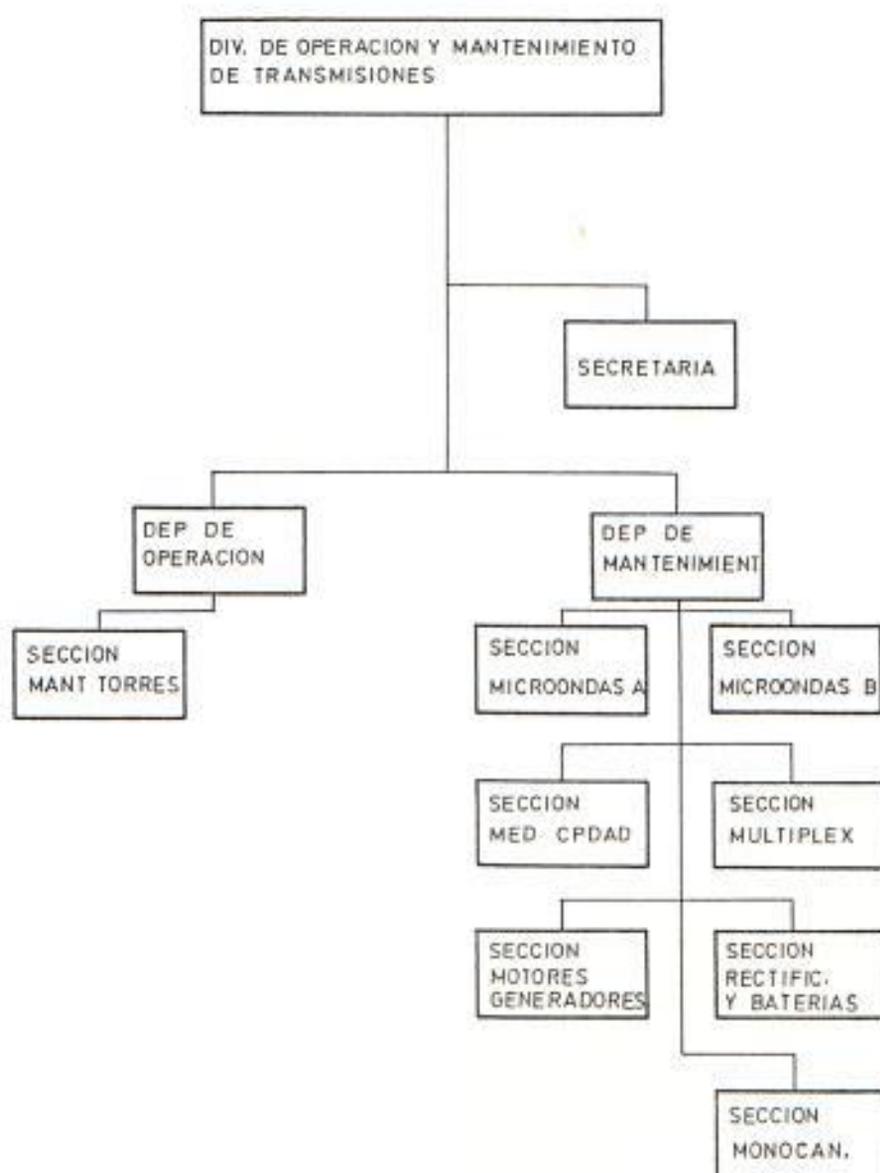


FIGURA 6.4

ORGANIGRAMA FUNCIONAL DE LA DIV. DE TRANSMISIONES IETEL R 2

6.5 FUNCIONES DE LA DIVISION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIONES

Son funciones de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisiones:

- a) Programar, dirigir, supervisar y coordinar labores relacionadas con los sistemas de transmisión, sistemas múltiplex, equipos de fuerza y climatización.
- b) Organizar, supervisar y evaluar programas de operación y mantenimiento.
- c) Evaluar las características y especificaciones técnica de equipos requerido y elementos complementarios.
- d) Asesorar en el campo de su especialización.
- e) Controlar y evaluar los trabajos realizados por el personal de la División.
- f) Asistir en representación del IETEL a reuniones en materia de telecomunicaciones, dentro y fuera del país.

- g) Presentar informes sobre las actividades realizadas por la División de Transmisión.
- h) Elaborar las especificaciones técnicas, bases, términos de referencias, presupuestos y más requisitos para el mantenimiento de los sistemas de transmisión.
- i) Elaborar la proforma presupuestaria de la División de Operación y Mantenimiento Regional de su responsabilidad.
- j) Participar en las pruebas de los equipos de transmisión instalados, así como de aceptación de los mismos en coordinación con la División de Ingeniería de Transmisión.
- k) Presentar al Subgerente Regional de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisión, informes periódicos de las actividades desarrolladas por el Departamento.
- l) Cumplir y hacer cumplir las leyes y reglamentos de la Institución y demás funciones que le fueren asignadas legalmente.

El Jefe de la División de Transmisión depende del

Subgerente de Operación y Mantenimiento y, es ante él, responsable del cumplimiento de sus funciones.

Para el desarrollo de sus funciones la División Regional de Transmisión cuenta con los Departamentos de:

- Operación
- Mantenimiento

DEPARTAMENTO DE OPERACION

Son funciones del Departamento de Operación:

- a) Controlar y supervisar la correcta operación de los sistemas de transmisión a nivel regional.
- b) Participar en la instalación, ampliación, puesta en servicios y aceptación de los sistemas de transmisión que se instale en la Región.
- c) Evaluar los resultados de los trabajos realizados.
- d) Colaborar en la elaboración de las proformas presupuestarias y en las necesidades de equipos y materiales de personal.
- e) Participar en la fiscalización técnica y

recepciones provisionales y definitivas de obras a contrato y de materiales adquiridos.

- f) Participar en la elaboración de especificaciones técnicas para la adquisición de equipos y materiales.
- g) Registrar y actualizar la estructura técnica de los sistemas de transmisión instalados en la Región.
- h) Presentar al Jefe de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisión informes periódicos de las actividades desarrolladas por el Departamento.
- i) Cumplir y hacer cumplir las leyes y reglamentos de la Institución y, las demás funciones que fueren asignadas legalmente.

El Jefe del Departamento de Operación, depende del Jefe de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisión y, es ante él, responsable del cumplimiento de sus funciones.

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Son funciones del Departamento de Mantenimiento:

- a) Elaborar los planes anuales de mantenimiento preventivo de los sistema de transmisión regional.
- b) Dirigir, supervisar y coordinar el cumplimiento de los planes de mantenimiento.
- c) Evaluar los resultados de los trabajos realizados e introducir los correctivos necesarios.
- d) Elaborar cuadros estadísticos de confiabilidad de los diferentes sistemas de transmisión.
- e) Colaborar en la elaboración de las proformas presupuestarias.
- f) Elaborar normas y reglamentos internos de mantenimiento para los diferentes servicios.
- g) Colaborar con la fiscalización técnica y recepciones provisionales y definitiva de obras a contrato y de materiales adquiridos.
- h) Presentar al Jefe de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisión informes periódicos de las actividades desarrolladas por el Departamento.

- i) Presentar informes periódicos sobre las labores realizadas.

- j) Cumplir y hacer cumplir las leyes y reglamentos de la Institución y, las demás funciones que le fueren encomendadas legalmente.

El Jefe del Departamento de Mantenimiento, depende del Jefe de la División de Operación y Mantenimiento de Transmisión y, es ante él, responsable del cumplimiento de sus funciones.

CAPITULO VII

CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS DE RADIO ENLACE DEL IETEL R-2

7.1 GENERALIDADES

Al IETEL R-2 le corresponde dar servicio telefónico a 10 Provincias del Ecuador, que son: Manabí, Guayas, Los Rios, El Oro, Azuay, Cañar, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe; por lo tanto, ha trazado una red de radio enlaces con el propósito de comunicar las diferentes ciudades y poblaciones entre si, con el país y el mundo.

Para este propósito se han instalado redes troncales de microondas que enlazan las principales ciudades entre si, teniendo un número mayor de canales telefónicos. A estos sistemas de microondas se les agregan enlaces de mediana capacidad, los cuales dan tráfico a ciudades de menor densidad poblacional, así también enlaces de baja capacidad que dan tráfico a poblaciones.

7.2 CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS DE MICROONDAS

Tiene como centro principal la estación terminal El Carmen, ubicada en Guayaquil, desde donde salen varias rutas de enlace; la ruta Centro que va hacia Quito, cuyo mantenimiento está a cargo de la Región 1; la Ruta Oeste que va hacia Portoviejo, Manta, Bahía de Caráquez y Chone; la ruta Sur que enlaza Machala, Loja, etc; la ruta hacia Cuenca y la ruta hacia Salinas. Existen además, otros enlaces que van de una ciudad a una Estación Terminal, ubicados en grandes elevaciones.

Los siguientes cuadros muestran la configuración básica y los radios enlace y las diferentes Estaciones Repetidoras por donde pasan.

RUTA HACIA SALINAS

ESTACION TERMINAL A	REPETIDORA	ESTACION TERMINAL B
EL CARMEN	ANIMAS	SALINAS
SALINAS	(LINEA FISICA)	LIBERTAD

RUTA OESTE

ESTACION TERMINAL A	REPETIDORA	ESTACION TERMINAL B
EL CARMEN	COCHABAMBA SAN JAVIER GRAMALOTAL	CERRO DE HOJAS
CERRO DE HOJAS	-	PORTOVIEJO
CERRO DE HOJAS	-	MANTA
CERRO DE HOJAS	CANTERAS	BAHIA DE CARAQUEZ
CERRO DE HOJAS	CANTERAS	CHONE
CERRO DE HOJAS	REPETIDORA PASIVA	JIPIJAPA

RUTA SUR

ESTACION TERMINAL A	REPETIDORA	ESTACION TERMINAL B
EL CARMEN	BALAO MACHALA	REPPEN
REPPEN	HUACHAURCO HUACHICHAMBO	LOJA
EL CARMEN	BALAO	MACHALA

RUTA HACIA CUENCA

ESTACION TERMINAL A	REPETIDORA	ESTACION TERMINAL B
EL CARMEN	ALTAR URCO	BUERAN
BUERAN	—	CUENCA

ENLACES CORTOS

ESTACION TERMINAL A	ESTACION TERMINAL B
QUEVEDO	COCHABAMBA
BABAHOYO	COCHABAMBA
MILAGRO	COCHABAMBA
EL CARMEN	COCHABAMBA
SANTA ROSA	REPPEN

7.3 CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS DE MEDIANA CAPACIDAD

Estos sistemas, generalmente llevan el tráfico telefónico (de 24 a 60 canales), a los sistemas troncales de microondas y son enlaces de tipo corto; es decir de poca distancia entre si. Comprende los siguientes enlaces:

ESTACION A	ESTACION B
ROCAFUERTE	CERRO DE HOJAS
SANTA ANA	CERRO DE HOJAS
SUCRE	CERRO DE HOJAS
TOSAGUA	CERRO DE HOJAS
VENTANAS	COCHABAMBA
VINCES	COCHABAMBA
NARANJITO	COCHABAMBA
BALZAR	COCHABAMBA
CATARAMA	COCHABAMBA
NARANJAL	BALAO
PLAYAS	ANIMAS
POSORJA	ANIMAS
HUAQUILLAS	REPPEN
ARENILLAS	MACHALA
PASAJE	MACHALA
ZARUMA	REPPEN
CELICA	HUACHAURCO
LA TOMA	HUACHICHAMBAO
GUALACEO	GALLIL
PAUTE	GALLIL
SIG - SIG	GALLIL
GIRON	SIMBALA
SANTA ISABEL	SIMBALA
GALLIL	BUERAN
SIMBALA	BUERAN
CAÑAR	BUERAN
AZOGUES	BUERAN
SAMBORONDON	EL CARMEN

7.4 CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS DE BAJA CAPACIDAD

Estos enlaces dan servicio a poblaciones pequeñas y por lo general son de un solo canal, comprende los siguientes enlaces:

ESTACION A	ESTACION B
QUINSALOMA	COCHABAMBA
TENGUEL	BALAO
PALESTINA	DAULE
LAUREL	-
PONCE ENRIQUE	MACHALA
GUALAQUIZA	GALLIL
PACHA	REPPEN
AYANGUE	LIBERTAD
PALMAR	LIBERTAD
MARCABELI	HUACHAURCO
SANTA LUCIA	DAULE
BUENA FE	QUEVEDO

Además, existe el sistema de multiacceso instalado en la Estación Animas que enlaza pueblos.

CAPITULO VIII

PLANIFICACION ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE RADIO ENLACE Y SUS PROBLEMAS

8.1 GENERALIDADES

Terminado el análisis sobre la parte técnica de un radio enlace, se presenta el problema sobre la planificación del mantenimiento de estos sistemas.

El Departamento de Operación que entre otras funciones tiene la de supervisar el funcionamiento de los sistemas instalados, no está realizando esta labor debido a la escasez de recursos humanos y físicos, por lo tanto no proporciona información al Departamento de Mantenimiento, el mismo que tampoco está cumpliendo sus objetivos, en lo que tiene que ver con el desarrollo de planos, programas, estadísticas de fallas, etc.

8.2 DESCRIPCION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO UTILIZADO

La División de Transmisiones planifica los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo a las especificaciones de las casas fabricantes

de los diferentes equipos de radio enlace. Según estas recomendaciones, el mantenimiento se debe realizar cada seis meses y se ejecutarán dos tipos de pruebas en los equipos de radio propiamente dichos: Pruebas locales y pruebas de tramo.

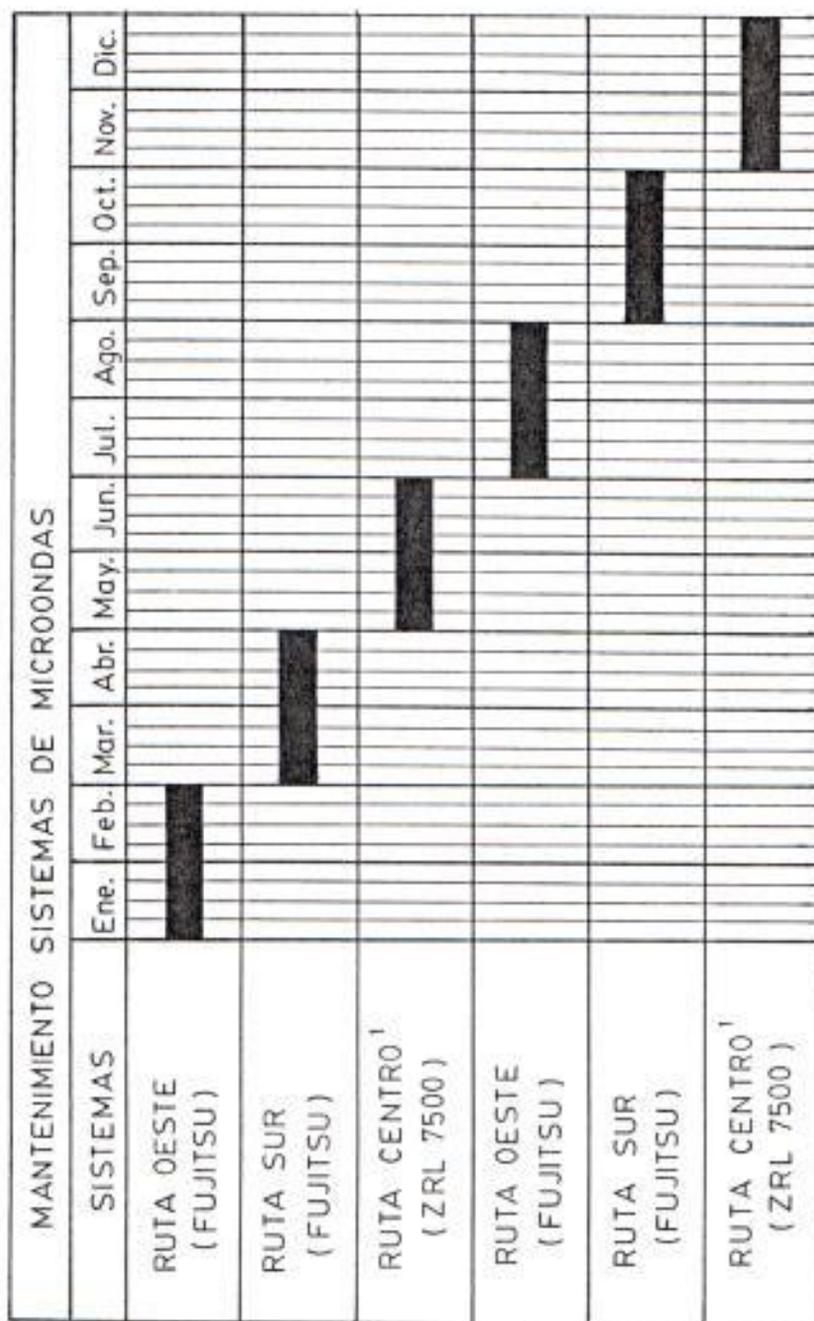
El mantenimiento se realiza en las 10 Provincias de esta Regional, en aproximadamente 50 Estaciones Terminales y 17 Estaciones Repetidoras, en equipos de radio, múltiplex, rectificadores, baterías y motores.

Los trabajos de mantenimiento están programados para ser ejecutados semanalmente, tal como se puede ver en la carta de GANTT para los sistemas de microondas en la Figura 8.1.

8.2.1 PRUEBAS LOCALES

Estas pruebas consisten en realizar mediciones de los diferentes parámetros de los equipos (potencia, niveles, frecuencias, etc.), en cada estación donde hayan equipos instalados, comparados con los valores de referencia y realizar ajustes, de ser necesario.

8.2.2. PRUEBAS DE TRAMO



1: incluye sistemas - Cuenca - Peninsula Sta. Elena - Milagro - Sta. Rosa

FIGURA 8.1 PLANIFICACION DE LOS SISTEMAS DE MICROONDAS (CARTA DE GANT)

Estas pruebas se realizan entre tramos cuyas estaciones están enlazadas directamente, consiste en enviar señales en una Estación y recibirlas en otra; pero, analizando los parametros recibidos de tal manera que se pueda verificar el comportamiento del tramo.

8.3 PROBLEMAS QUE OBSTACULIZAN EL DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Como hemos observado de la carta de GANTT, Figura 8.1, los trabajos están programados para ser ejecutados semanalmente en cada una de las estaciones; el motivo principal para asignar esta duración a los trabajos de mantenimiento se debe a tres factores:

8.3.1 UBICACION DE LAS ESTACIONES

Estas se encuentran ubicadas en zonas muy distantes de la sede de transmisiones, en sitios de gran altura, debido a la necesidad de línea de vista para los radios enlaces y donde las vías de acceso presentan muchas dificultades para llegar a las respectivas estaciones, lo cual involucra que hay que considerar varias horas de viaje, solo por cuestiones de viaje.

8.3.2 RECURSOS DISPONIBLES

Aunque en el área de mantenimiento se dispone de recursos humanos necesarios para realizar un rápido y eficiente plan de mantenimiento, es difícil cumplir este objetivo, debido a las restricciones impuestas por la capacidad limitada de instrumentos de prueba y vehículos para movilizarse hacia las diferentes Estaciones. A estas restricciones se debe que los trabajos de mantenimiento se hayan programado de manera que no se puedan realizar simultáneamente en varias estaciones, sino que se debe terminar el trabajo en una Estación para empezar en otra, no pudiendo, por lo tanto abrirse varios frentes de trabajo.

8.3.3 CAPACIDAD DE SERVICIO Y CANTIDAD DE EQUIPOS

Es importante señalar que la duración de los trabajos de mantenimiento por Estación depende de factores como la capacidad de servicio de los equipos de radio enlace; es decir, equipos con mayor capacidad de canales telefónicos requerirán de mayor tiempo para ejecutar dichos trabajos de mantenimiento, mientras que equipos de menor capacidad requieren menos tiempo.

8.4 TECNICA DE PLANIFICACION EMPLEADA

La División de Transmisiones del IETEL R-2, para la planificación de las cargas de trabajo para su departamento de mantenimiento, utiliza la técnica denominada Carta de Gantt, a digrama de barras, tal como lo muestra la Figura 8.1.

Una dificultad de este método, es que es difícil decidir cuales son las actividades críticas que controlan la duración del proceso. Este hecho provoca que, cuando se detecta un atraso en la ejecución de alguna actividad, se trate de ganar ese tiempo acelerando actividades posteriores no críticas, con el consecuente aumento en el costo y desperdicio de esfuerzos, ya que no se modificará el tiempo de terminación del proyecto, por haber modificado actividades no críticas.

CAPITULO IX

PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO DE LA DIVISION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE IETEL R-2.

9.1. GENEALIDADES

En esta parte se abordará una forma más sistemática para realizar la planificación dentro de la División, así como la aplicación de la técnica de planificación PERT, con lo cual se establecerá una ruta crítica, en la que debe poner toda la atención posible para que no se retrase en tiempo y de esta forma cumplir con el objetivo fijado, el cual es realizar el mantenimiento preventivo en todos los sistemas aumentando de esta forma la confiabilidad.

9.2 MEDIOS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE PLANIFICACION Y CONTROL

La confiabilidad es la característica o el grado de estabilidad que con el paso del tiempo presenta un sistema, un equipo, etc. Este involucra determinar si la calidad del sistema se está manteniendo bien durante este tiempo; esto es debido

a que el equipo envejece y sus características varían.

Existen diferentes formas de planificar para llevar a cabo una buena administración y de esta forma alcanzar los objetivos propuestos, uno de estos es la planeación, la organización, la ejecución, o el control tal como podemos observar en la Figura (9.1).

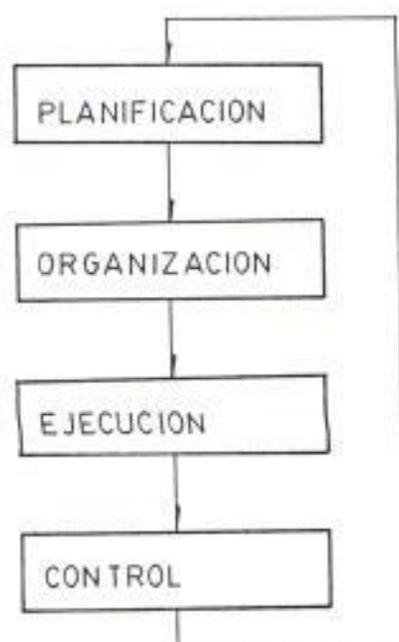


FIGURA 9.1

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MANTENIMIENTO

9.2.1. PLANEACION

Consiste en la determinación del curso concreto de acción que ha de seguirse, fijando los principios que orientarán o la secuencia de operaciones necesarias para alcanzarlo y la fijación de los tiempos, necesarios para su realización. Esto comprende tres etapas:

- 1) POLITICAS: Principios para aumentar la acción.
- 2) PROCEDIMIENTOS: Secuencias de operación o métodos.
- 3) PROGRAMAS: Fijación de tiempos requeridos.

9.2.2 ORGANIZACION

Se refiere a la estructuración técnica de las relaciones, que debe darse entre las jerarquias, funciones y obligaciones individuales necesarias en un organismo social para su mayor eficiencia; comprende tres etapas:

- 1) JERARQUIAS: Fijar la autoridad y responsabilidad correspondiente a cada nivel
- 2) FUNCIONES: La determinación de como deben

dividirse las grandes actividades especializadas necesarias para lograr el fin general.

- 3) OBLIGACIONES: Las que tiene en concreto cada unidad de trabajo susceptible de ser desempeñado por una persona.

9.2.3 EJECUCION

Es impulsar, coordinar y vigilar las acciones de cada miembro y grupo de un organismo social, con el fin de que el conjunto de todos ellos se realice del modo más eficaz. Esto comprende las siguientes etapas:

- 1) MANDO O AUTORIDAD: Es el principio del que deriva toda la administración.
- 2) COMUNICACION: Da a conocer todos los elementos necesarios hacia cada célula con el fin de coordinar debidamente.

9.2.4 CONTROL

Consiste en el establecimiento de sistemas que nos permitan medir los resultados actuales y pasados, en relación con los esperados, con el fin de saber si se ha obtenido lo que se esperaba, corregir, mejorar y formular nuevos planes.

En cuanto a establecimientos de normas, estas serían obtenidas de los datos proporcionados por el Departamento de Operación (estadísticas de fallas y alarmas), y por la División de Ingeniería (pruebas de aceptación de un sistema de radio enlace).

9.3 APLICACION DE LA TECNICA DE PLANIFICACION, PROGRAMACION Y CONTROL PERT AL PLAN DE MANTENIMIENTO

Para llevar a cabo este plan, estableremos un orden jerarquico en cuanto al mantenimiento de los sistemas; esto es, tiene mayor prioridad el sistema con mas canales telefónicos o sea sistemas de microondas, luego el sistema de mediana capacidad, luego sistema múltiplex y por último sistemas de baja capacidad.

9.3.1 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES

Se consideran las siguientes actividades para un período de seis meses:

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION</u>	<u>CODIGO</u>
Trabajo en el sistema de microonda hacia Manabí, incluye: El Carmen - Cochabamba, san Javier, Gramalotal, Cerro de Hojas, Manta, Portoviejo, Canteras, Bahía, Chone y Jipijapa.	5 semanas	Al
Trabajo en el sistema múltiplex de Manabí, incluye: Cerro de Hojas, Manta, Portoviejo, Bahía y Chone	2 semanas	Bl
Trabajo en sistemas de mediana capacidad, incluye: Rocafuerte, Santa Ana, Sucre, Tosagua, Montecristi.	2 semanas	Cl
Trabajos en sistemas de múltiplex de pruebas de Manabí, incluye: Rocafuerte, Santa Ana, Sucre, Tosagua, Montecristi	2 semanas	Dl
Trabajos en sistemas de monocanales Manabí, incluye: JUNIN	1 semana	El
Trabajo en monocanales en estación terminal. Provincia de Manabí	1 semana	F1

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION</u>	<u>CODIGO</u>
Trabajo en sistema microondas de Provincia Los Rios, incluye: Cochabamba, Quevedo, Babahoyo, Milagro, El Carmen.	3 semanas	A2
Trabajo en sistema múltiplex en Estación Cochabamba	1 semana	B2
Trabajo en sistema de mediana capacidad, incluye: Catarama, Naranjito, Vines, Daule, Empalme, Ventanas, San Carlos	3 semanas	C2
Trabajo en sistema múltiplex de pueblos de Provincia Los Rios, incluye: Catarama, Naranjito, Vines, Daule, Balzar, Empalme, Ventanas, San Carlos.	2 semanas	D2
Trabajo en sistema de monocanales de Provincia del Guayas, incluye: Balao, Pancho Negro, Tenguel, Puná	3 semanas	E2
Trabajo de sistema monocanales en pueblos, incluye: Quinzaloma, Bucay, Buena Fe, El Paraiso, Santa Lucia	4 semanas	F2

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION</u>	<u>CODIGO</u>
Trabajo en sistemas de microondas Prov. de Guayas, incluye: Salinas, Animas, El cArmen	3 semanas	A3
Trabajo en sistema múltiplex.Pro vincia Guayas, incluye: Salinas La Libertad	1 semana	B3
Trabajo en sistema de mediana ca pacidad, incluye: Playas, Posor- ja, Punta Carnero	2 semanas	C3
Trabajo en sistema múltiplex de pueblos, incluye: PLAYAS, Posor- ja, Punta Carnero	2 semanas	D3
Trabajo en sistemas de multiac- ceso de Provincia Guayas y pue- blos aledaños	3 semanas	E3
Trabajo en sistemas monocanales de pueblos, incluye: Ayangue, Palmar	1 semana	F3
Trabajo en sistema de microondas Prov. del Sur, incluye: El Carmen, Balao, Machala, Reppen, Huachaurco, Huachichambo, Loja, Santa Rosa, Zamora Chinchipe	5 semanas	A4

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION</u>	<u>CODIGO</u>
Trabajo en sistema múltiplex en Prov. del Sur, incluye: Machala, Reppen, Loja, Catamayo	2 semanas	B4
Trabajos en sistema de mediana capacidad, incluye: Pasaje, Huaquillas, Arenillas, Naranjal, Guabo, Zaruma, Y Prov. de Loja	5 semanas	C4
Trabajo en sistema múltiplex de pueblo, incluye: Pasaje, Huaquillas, Arenillas, Naranjal, Guabo, Zaruma, Reppen, Pueblos de Prov. de Loja	4 semanas	D4
Trabajo en sistemas de monocanales en Provincia de Loja	3 semanas	E4
Trabajo en sistemas de microondas hacia Prov. de Azuay, incluye: El Carmen, Altar Urco, Bueran, Cuenca	3 semanas	A5
Trabajo en sistema múltiplex de Prov. de Azuay	1 semana	B5
Trabajos en sistema mediana capacidad, incluye: Azogues, Cañar, Bueran, Gallil, Simbala, Sta. Isabel, Paute, Sig-Sig y pruebas del Oriente	5 semanas	C5

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION</u>	<u>CODIGO</u>
Trabajo en sistema de múltiplex de Prov. del Azuay y Cañar, incluye Azogues, Cañar, Buerán, Gallil, Simbala, pueblos del Oriente	4 semanas	D5
Trabajos en sistemas de monocanales Prov. Azuay, incluye: Gualaquiza, Gallil, Churuhurco	2 semanas	E5
Trabajos en sistemas monocanales en Estaciones Terminales Provincia del Azuay	1 semana	F5
Semana preparación para repetir plan	1 semana	

9.3.2 TABLA DE SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES

<u>CODIGO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION SEMANA</u>	<u>ACTIVIDAD ANTERIOR</u>	<u>ACTIVIDAD POSTERIOR</u>
1	Semana preparación	1	-	A1, A5
A1	Trabajo microondas de Manabí	5	1	B1, C1
B1	trabajo de múltiplex en Manabí (red principal)	2	A1	E1, O1, A2
C1	Trabajo de mediana capacidad en Manabí	2	A1	A2, D1

<u>CODIGO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION SEMANA</u>	<u>ACTIVIDAD ANTERIOR</u>	<u>ACTIVIDAD POSTERIOR</u>
D1	Trabajo de multi - plex en Manabí (pueblos)	2	B1,C1	B2,C2,F1
E1	Trabajo de monoca- nales en Manabí	1	B1	F1
F1	Trabajo de monoca- nales en Manabí (terminal)	1	D1,E1	E2
A2	Trabajo de microon- da de Los Rios	3	B1,C1	C2,B2
B2	Trabajo de multi - plex en Estación Cochabamba	1	A2,D1	A3.D2,E2
C2	Trabajo de mediana capacidad	3	A2,D1	A3,D2
D2	Trabajo de multi- plex en Prov.Los Rios (pueblos)	2	B2,C2	B3,C3,F2
E2	Trabajo de monoca- nales Prov.Guayas	3	F1,B2	F2
F2	Trabajo de monocana- les en pueblos Prov. Los Rios, Guayas	4	E2,D2	E3
A3	Trabajo de microon- das Prov. Guayas	3	B2,C2	B3,C3

<u>CODICO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION SEMANA</u>	<u>ACTIVIDAD ANTERIOR</u>	<u>ACTIVIDAD POSTERIOR</u>
B3	Trabajo en multiplex Prov. Guayas	1	A3, D2	D3, E3
C3	Trabajo de mediana capacidad Prov. Guayas	2	A3, D2	D3
D3	Trabajo de multiplex Prov. Guayas (pueblos)	2	B3, C3	F3
E3	Trabajo en sistema multiacceso y poblaciones (Prov. Guayas)	3	B3, F2	F3
F3	Trabajo monocanales en pueblos (Prov. Guayas)	1	D3, E3	J
A5	Trabajo en microondas Prov. Azuay	3	1	B5, C5
B5	Trabajo en multiplex. Prov. Azuay	1	A5	A4, D5, E5
C5	Trabajo en sistema mediana capacidad, Prov. Azoguez, Cañar, Oriente	5	A5	A4, D5
D5	Trabajo en múltiplex (Prov. Azuay, Cañar, Oriente)	4	C5	C4, B4

<u>CODIGO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION SEMANA</u>	<u>ACTIVIDAD ANTERIOR</u>	<u>ACTIVIDAD POSTERIOR</u>
E5	Trabajo en monocanales. Prov. Azuay	2	B5	F5
F5	Trabajo en monocanales. Prov. Azuay (Estac. Terminal)	1	D5, E5	E4
A4	Trabajo en microondas, red sur	5	B5, C5	B4, C4
B4	Trabajo en múltiplex, red sur	2	A4, D5	D4, E4
C4	Trabajo en sistema mediana capacidad (Prov. El Oro, Loja)	5	A4, D5	D4
D4	Trabajo en sistema múltiplex. Prov. Azuay, Cañar, Oriente. (Prov. El Oro, Loja)	4	B4, C4	J
E4	Trabajo en monocanales. Prov. Loja	3	B4, F5	J
J	Semana preparación para continuar con el plan		D4, E4, F3	-

9.3.3 CALCULO DE LA TECNICA PERT

La figura 9.2 muestra los cálculos y se realizan

en una actividad

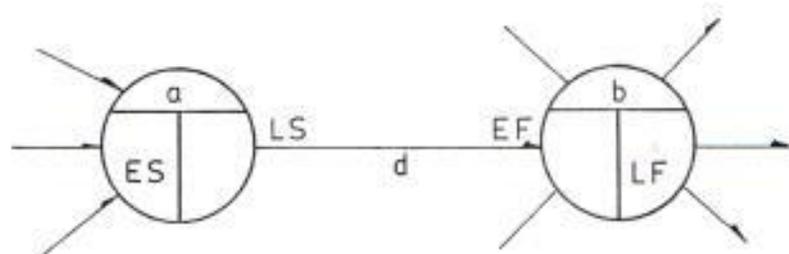


FIGURA 9.2

CALCULOS EN UNA ACTIVIDAD PERT

d = tiempo de duración de una actividad

ES = inicio más temprano

EF = finalización más temprano

LS = Inicio más tardío

LF = finalización más tardía

HT = holgura total

HL = holgura libre

RC = ruta crítica

Donde:

- $ES = \max (EF \text{ de actividades que llegan al nodo a})$
- $EF = Es + d$
- $LF = \min (LS \text{ de actividades que salgan del nodo b})$

- $LS = LF - d$
- $HT = Ls - ES = LF - EF$
- $HL = (ES \text{ de actividades que salen del nodo } b) - EF$

El camino más largo se llama ruta crítica y tiene la característica que las holguras son nulas.

9.3.4 RED PERT DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez establecida la tabla de secuencias, la red PERT resultante la encontramos en la Figura (9.3), donde encontramos señalada la ruta crítica, a la misma que hay que evitar que sufra un retraso en el tiempo para alcanzar el objetivo fijado, el cual es dar mantenimiento a todos los sistemas en un lapso de seis meses para luego repetir el proceso y completar en el mantenimiento anual.

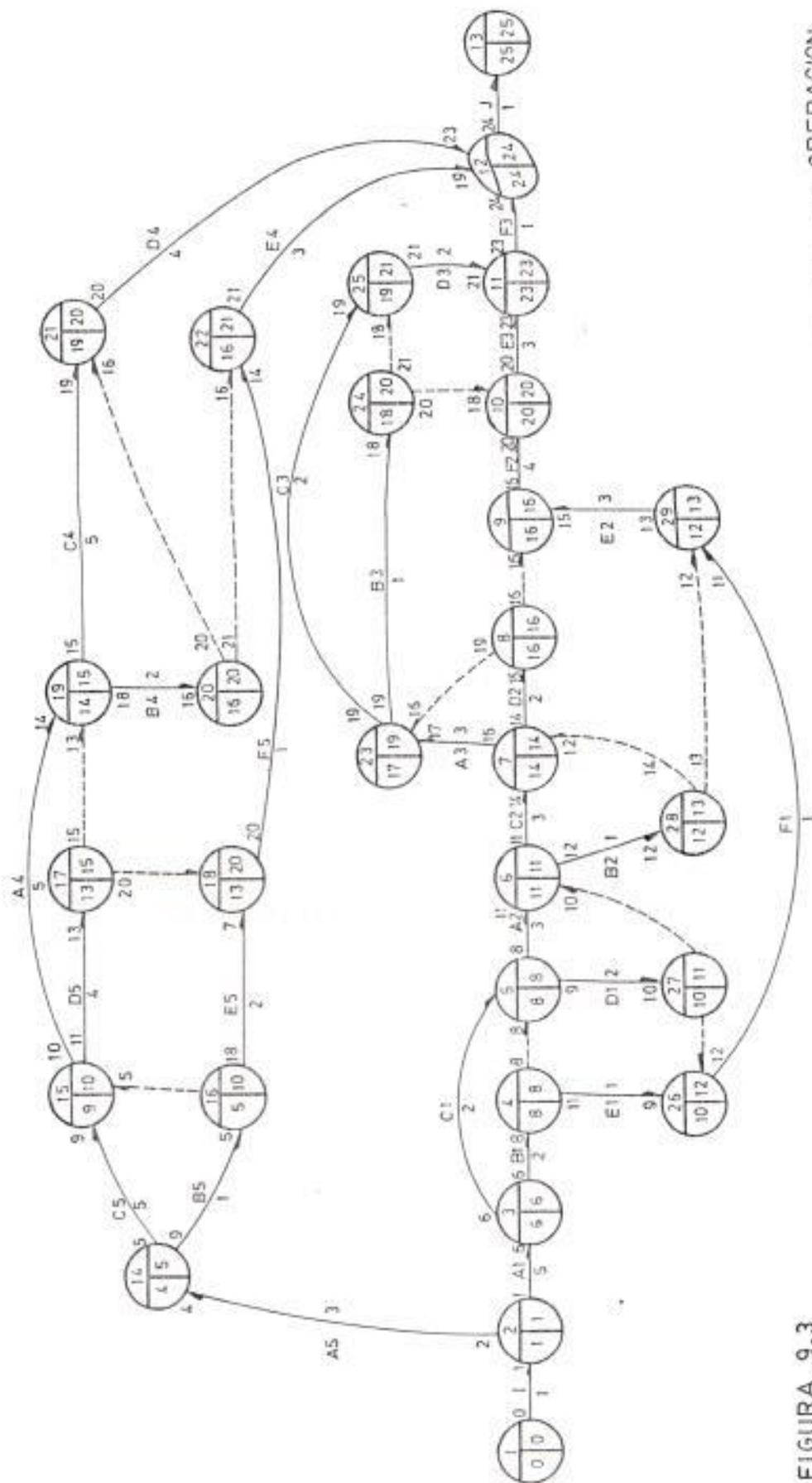


FIGURA 9.3
 RED PERT DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE RADIO ENLACE DE LA DIVISION DE OPERACION
 Y MANTENIMIENTO DE IETEL R.2
 RUTA CRITICA: 1 A1 B1 A2 C2 D2 F2 E3 F3 J

TABLA V
CALCULO TABULAR

ACT.	PRED.	SUCES.	DUR.	ES	EF	LS	LF	HT	HL	RC
I	-	A1,A5	1	0	1	0	1	0	0	*
A1	I	B1,C1	5	1	6	1	6	0	0	*
B1	A1	E1,D1,A2	2	6	8	6	8	0	0	*
C1	A1	A2.D1	2	6	8	6	8	0	0	*
D1	B1,C1	B2,C2,F1	2	8	10	9	11	1	0	
E1	B1	F1	1	8	9	11	12	3	1	
F1	E1,D1	E2	1	10	11	12	13	2	1	
A2	B1,C1	C2,B2	3	8	11	8	11	0	0	*
B2	A2,D1	A3,D2,E2	1	11	12	12	13	1	0	
C2	A2,D1	A3,D2	3	11	14	11	14	0	0	*
D2	B2,C2	B3,C3,F2	2	14	16	14	16	0	0	*
E2	F1,B2	F2	3	12	15	13	16	1	1	
F2	E2,D2	E3	4	16	20	16	20	0	0	*
A3	B2,C2	B3,C3	3	14	17	16	19	2	0	
B3	A3,D2	D3,E3	1	17	18	19	20	2	1	
C3	A3,D2	D3	2	17	19	19	21	2	0	
D3	B3,C3	F3	2	19	21	21	23	2	2	
E3	B3,F2	F3	3	20	23	20	23	0	0	*
F3	D3,E3	J	1	23	24	23	24	0	0	*
A5	I	B5,C5	3	1	4	2	5	1	0	
B5	A5	A4,D5,E5	1	4	5	9	10	5	4	
C5	A5	A4,D5	5	4	9	5	10	1	0	
D5	C5	C4,B4	4	9	13	11	15	2	1	
E5	B5	F5	2	5	7	18	20	13	6	
F5	D5,E5	E4	1	13	14	20	21	7	2	

ACT.	PRED.	SUCES.	DUR.	ES	EF	LS	LF	HT	HL
A4	B5,C5	B4,C4	5	9	14	10	15	1	0
B4	A4,D5	D4,E4	2	14	16	18	20	4	0
C4	A4,D5	D4	5	14	19	15	20	1	0
D4	B4,C4	J	4	19	23	20	24	1	1
E4	B4,F5	J	3	16	19	21	24	5	5
J	D4,E4,F3	-	1	24	25	24	25	0	0 *

9.3.5 SU APLICACION

Para aplicar esta red PERT se necesitaría ahora asignar grupos de trabajo que irían a ejecutar estas actividades. Pudiendo formarse, por ejemplo dos grupos de microondas de tres técnicos cada uno, que pudieran a su vez ejecutar actividades en los sistemas de mediana capacidad, así mismo dos grupos de múltiplex compuestos de dos técnicos cada grupo y un grupo de baja capacidad compuesto de dos técnicos.

Se necesita además, contar con las herramientas indispensables, tales como vehículos para poder movilizarse, equipos de medición, herramientas básicas.

Como podemos observar la planificación PERT nos muestra la ruta crítica a seguir a la que se

debe poner todo el esfuerzo posible y evitar concentrar el énfasis en rutas que no son crítica para lograr el objetivo final.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Del resultado de este trabajo se tienen las siguientes conclusiones:

- 1) El presente trabajo está orientado principalmente al personal técnico de la DOMT R-2, con la esperanza que sirva de ayuda para aumentar el nivel de conocimiento técnico.
- 2) Además, de los problemas citados, existen muchos otros problemas que son conocidos y resueltos por los niveles de mandos superiores, por lo tanto este trabajo no pretende resolver todos los problemas que existen dentro de la DOMT.

RECOMENDACIONES

- 1) Se deben dictar cursos regulares para entrenar al personal técnico con el propósito de actualizar sus conocimientos.
- 2) Hacer el esfuerzo posible para dotar a la DOMT de vehículos, equipos de medición para que cumpla mejor sus objetivos.

- 3) Se debe hacer funcionar al Departamento de Operación para que cumpla sus objetivos, el cual es proporcionar información del estado de funcionamiento de los sistemas al Departamento de Mantenimiento.

- 4) Cambiar su forma de planificación a una más funcional, ayudándose de una computadora para hacer más dinámica su ejecución, y de esta forma lograr el objetivo propuesto.

BIBLIOGRAFIA

- Agustín Montaña, INICIACION AL METODO DEL CAMINO CRITICO, Trillas México 1981
- Agustín Reyes Ponce, ADMINISTRACION DE EMPRESAS PRIMERA Y SEGUNDA PARTE, Limusa, México 1982.
- Elektrisk Bureau, LEVEL NOTATIONS IN TRANSMISSION SYSTEMS, Estocolmo Suecia, 1979.
- Ericsson, ATENUACION, GANANCIA NIVEL, Estocolmo Suecia.
- ESPOL, PRINCIPIOS DE ADMINISTRACION, Guayaquil Ecuador 1983.
- FUJITSU LIMITED, CONCEPTOS DE MEDICION E INSTRUMENTACION PARA SISTEMAS DE RADIO ENLACE POR MICROONDAS, Tokio Japón.
- FUJITSU LIMITED, DFM SIGNAL CONCEPT, PROPERTY OF FM SIGNAL. SIGNAL TO NOISE RATIO IN FM SYSTEMS, Tokio Japón.
- Hamdy A. Taha, INVESTIGACION DE OPERACIONES REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA, México 1981.
- Heinz Karl, FOR A BETTER APLICATION OF RADIO RELAY SYSTEMS. PERFORMANCE AND ITS CALCULATION, Estocolmo 1982.
- Helmut Brodhage, AND WILHELM HORMUTH. PLANNING AND ENGINEERING OF RADIO RELAY LINKS HEYDEM, Berlin 1977.

- Hewlett Packard, MLA MEASUREMENT CONCEPTS.
- Yoshindbu Tanemori, TEMAS SOBRE EL MANTENIMIENTO DE MICROONDAS, Tokio 1973.