

MEDICIONES EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES POR MICROONDAS

Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Ingeniero en la especialización de Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional.

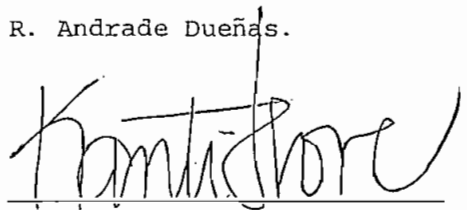
José R. Andrade Dueñas
Quito, Noviembre de 1977

A mis padres

A mi esposa

A mis hermanos

Certifico que esta Tesis ha
sido desarrollada en su to-
talidad por el señor José -
R. Andrade Dueñas.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kanti Hore', written over a horizontal line.

, Doctor Kanti Hore
Director de Tesis

Quito, Noviembre de 1977

Mis más sinceros agradecimientos a la Escuela Politécnica Nacional, en especial a la Facultad de Ingeniería Eléctrica que supo darme la formación y los conocimientos necesarios.

Al Doctor Kanti Hore, Director de Tesis, quien con sus conocimientos y acertados consejos hizo posible la culminación del presente trabajo.

Al Ingeniero Luis Silva y en especial al Ingeniero Hugo Banda, leal amigo y compañero.

Al Departamento de Transmisión del Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones, cuyos personeros me prestaron la ayuda necesaria.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en el presente trabajo.

INTRODUCCION

El presente tema: "Mediciones en Sistemas de Telecomunicaciones por Microondas" tiene por objeto, adentrarse en un mayor conocimiento de las mediciones rutinarias y de operación que se deben realizar en sistemas de microondas diseñados para transmitir información telefónica de un multiplex por división de frecuencia; obtener un breve conocimiento de los aparatos usados en dichas mediciones y de las normas y requerimientos que las mediciones deben cumplir.

Como parte práctica se toman mediciones en sistemas de microondas del I.E.TEL y se han comparado los resultados con las recomendaciones del CCIR, ó del fabricante. Este trabajo no trata de las mediciones que se pueden realizar en el equipo multiplex sino solamente en el equipo de radio.

Finalmente, este tema de tesis puede tomarse como un pequeño aporte complementario a las materias de telecomunicaciones que se dictan en la Escuela Politécnica Nacional, en los cursos de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

La tesis está dividida en tres capítulos: el primero "Composición Básica de un Sistema de Telecomunicaciones por Microondas", habla sobre los elementos que componen un radio de microondas.

En el Segundo Capítulo "Técnicas de Medición para Sistemas FDM Transmitidos por Radio Relevos" se realiza un estudio teórico de las mediciones de parámetros en los sistemas de radio relevos, se presenta el informe de una medición en el tramo Quito-Atacazo y se explica el procedimiento usado.

Aunque las medidas realizadas no son las únicas que se pueden hacer, si son las principales. Su significado teórico es importante y son parámetros que afectan directamente el buen funcionamiento de un sistema de radio relevos.

El Capítulo Tercero "Análisis Comparativo de las Mediciones y Conclusiones", explica la forma de interpretar el resultado de las mediciones, especialmente en cuanto a ruido se refiere, puesto que es el parámetro más importante a tomarse en cuenta en un sistema de comunicaciones por radio relevos.

INDICE GENERAL

Página

CAPITULO PRIMERO:

COMPOSICION DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES POR MICROONDAS.

1.1.	Generalidades	1
1.2.	Tipos de Repetidoras	5
1.3.	Composición de una Estación Terminal	7
1.3.1.	El Transmisor	7
1.3.2.	El Receptor	12

CAPITULO SEGUNDO:

TECNICAS DE MEDICION PARA SISTEMAS FDM TRANSMI- TIDOS POR RADIO RELEVOS.

2.1.	Generalidades	15
2.2.	Mediciones en la Sección de Radio Fre- cuencia	19
2.2.1.	Mediciones de Potencia	20
2.2.2.	Aspectos Generales de Medidores de Po- tencia con Bolómetro	22

2.2.3.	Características del Medidor de Potencia	26
2.2.4.	Medición de Potencia Transmitida	27
2.2.5.	Medición de la Potencia de Recepción	30
2.2.6.	Mediciones de Frecuencia	33
2.2.7.	Aspectos Generales de Contadores de Frecuencia	34
2.2.8.	Características del Contador de Frecuencias	38
2.2.9.	Mediciones de Frecuencia de Osciladores Locales y Frecuencia RF	39
2.3.	Medición en la Sección de Frecuencia Intermedia	41
2.3.1.	Medición de Nivel de Salida (Frecuencia Intermedia)	41
2.3.2.	Mediciones de Frecuencia Intermedia	43
2.3.3.	Mediciones de Retraso de Grupo	45
2.3.4.	Principio de Medida de Retraso de Grupo	50
2.4.	Mediciones en la Sección de Banda Base	56
2.4.1.	Mediciones de Respuesta Amplitud Frecuencia	56
2.4.2.	Mediciones de Ruido.- Generalidades	59
2.4.3.	Características del Ruido Blanco	62
2.4.4.	Nivel de Carga del Sistema	65

2.4.5.	Medidas de Ruido Intrínseco y Ruido de Intermodulación	67
2.4.6.	Valores de Ruido a Medirse	68
2.4.7.	Valores de Ruido Medidos en el Tramo - Quito-Atacazo-Quito	73

CAPITULO TERCERO:

ANALISIS COMPARATIVO DE LAS MEDICIONES Y CONCLUSIONES.

3.1.	Generalidades	79
3.2.	Sección de Radio Frecuencia	79
3.3.	Sección de Frecuencia Intermedia	80
3.4.	Sección de Banda Base	82

CAPITULO I

COMPOSICION BASICA DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES POR MICROONDAS

1.1 Generalidades

En la consideración de la composición básica de un sistema, de comunicaciones por microondas, puede incluirse todas las unidades individuales que forman el equipo necesario para establecer el intercambio de información bilateral, entre dos abonados o usuarios de dicho sistema, Pero, como este trabajo trata primordialmente de mediciones en el tramo de radio, la discusión de este capítulo se limita al equipo de transmisión.

A base de lo expuesto, la composición básica de un sistema de telecomunicaciones como el que nos ocupa, que opera en el rango -- SHF, de 3 a 30 GHz, será como lo indicado esquemáticamente en la figura 1.1.

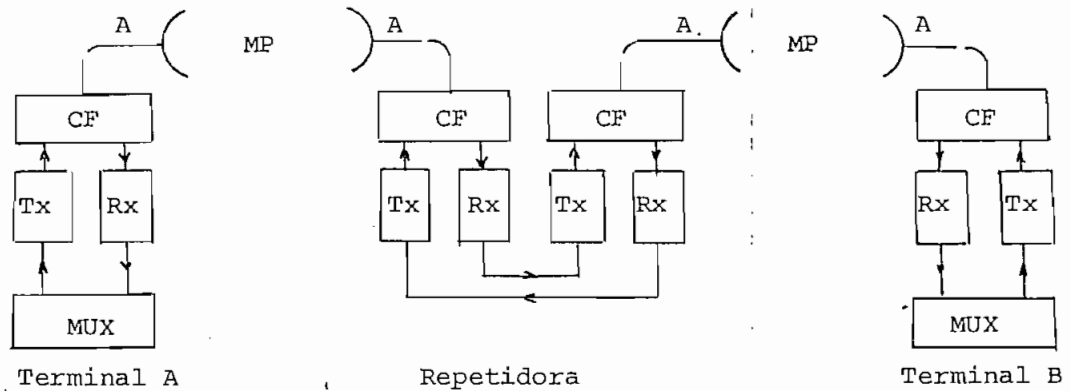


Figura 1.1 Sistema de comunicaciones por radio relevos

La función de los bloques que constan en la figura 1.1 es explicada a continuación en uno de los sentidos de transmisión, en el otro sentido la función es la misma.

1) Multiplex por división de Frecuencia (Mux FDM)

El multiplex de la estación terminal, procesa la información de los canales telefónicos, a ser transmitida hacia la otra estación terminal, por medio del equipo de radio y forma la Banda Base.

2) Transmisor (Tx)

La banda base formada en el multiplex entra al transmisor donde se provee un proceso de modulación de frecuencia y una traslación de frecuencia para la transmisión, la potencia de salida típica del transmisor de microondas varía entre 0.5 y 10 watts.

3) Circuladores y Filtros (CF)

La señal procesada en el transmisor es dirigida por medio de circuladores y filtros hacia la antena. Debido al arreglo simultáneo (una antena para varios transmisores y receptores), se debe usar circuladores para dirigir la información al destino apropiado.

4) Antena (A)

La información que sale del transmisor llega a la antena y es radiada. La antena parabólica usada a estas frecuencias tiene

como características una alta direccionalidad, gran ganancia de potencia y dimensiones moderadas.

5) Medio de Propagación (MP)

En el enlace por microondas, el medio de propagación es la tropósfera, las estaciones están situadas a una distancia típica de 50 Km. y entre ellas debe haber línea de vista.

6) Las estaciones repetidoras reciben la información, la amplifican y retransmiten hacia la siguiente estación repetidora o terminal. Así terminales distantes y sin línea de vista pueden comunicarse.

7) Receptor (Rx)

En la estación terminal la información recibida en la antena, es dirigida por un conjunto de circuladores y filtros al receptor apropiado. Se provee un proceso, inverso al realizado en el transmisor, de traslación de frecuencia y de demodulación de frecuencia para extraer la banda base que entra al multiplex donde se reproduce la información en los canales telefónicos individuales que fueron combinados en el otro terminal del enlace.

Puesto que la comunicación es bidireccional, la función de los bloques en el otro sentido de transmisión es la misma.

La operación con equipo de reserva implica, la existencia de transmisores y receptores duplicados, un equipo principal y uno de reserva, transmitiendo simultáneamente la misma información.

El uso del sistema de protección implica un cambio, en caso de falla, del canal principal al canal de protección. Tres diferentes versiones de sistemas de protección se usan comunmente (Arreglo 1+1, Arreglo n+1 o Arreglo n+2).

En un arreglo 1+1 un enlace independiente de reserva es asociado al enlace principal. Ambos sistemas llevan la misma información.

En un arreglo 2+1, dos enlaces principales se asocian a un canal de reserva que transmite la información del canal principal que ha sufrido falla o deterioro de su transmisión.

En un arreglo n+1 ($n = 2 \dots 7$), un canal de protección se asocia al conjunto de canales principales.

En arreglo n+2, dos canales de protección se asocian a los canales principales para aumentar la confiabilidad del sistema.

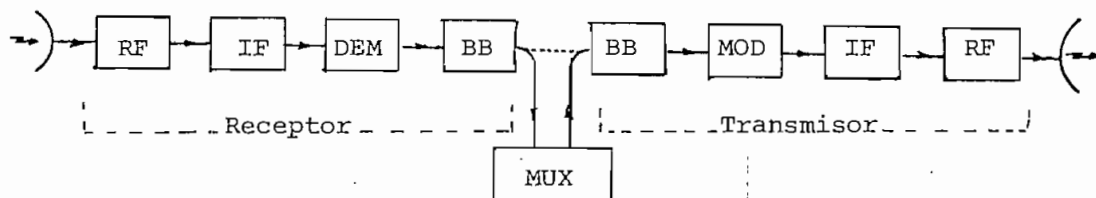
En cada estación la antena y la guía de onda son comunes a todos los canales de radio frecuencia no así los demás equipos (circuladores, filtros, radios, etc).

1.2 Tipos de Repetidoras

Existen dos tipos de repetidoras en sistemas de radio relevos:

- 1) Repetidoras Banda Base o Remodulantes (BB).
- 2) Repetidoras de Frecuencia Intermedia o Heterodinas (IF).

Las repetidoras banda base se usan en tramos cortos y medianos, pero generalmente donde el acceso a la banda base es necesario para insertar o terminar canales.



RF -- Sección de Radio Frecuencia

IF -- Sección de Frecuencia Intermedia

DEM -- Sección de Demodulación

BB -- Sección de Banda Base

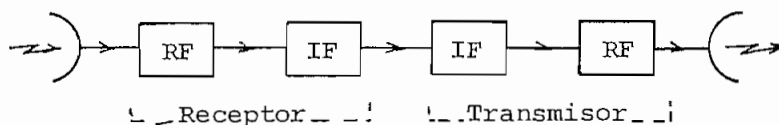
MOD -- Sección de Modulación

Figura 1.2 Repetidora Banda Base o Remodulante

La figura 1.2 muestra una repetidora Banda Base compuesta por un receptor y un transmisor heterodino conectados uno contra otro. Este tipo de receptor y transmisor se encuentra en las esta-

ciones terminales y consta en la sección 1.3.

Las repetidoras de frecuencia intermedia o heterodinas son usualmente usadas en saltos largos, donde la información no necesita ser sacada ni insertada en el repetidor, aunque actualmente es práctica general usar repetidoras IF en todos los saltos, proveyéndose de la sección de Modem y banda base en las repetidoras donde se necesita acceso a la información para terminar o insertar canales.



RF -- Sección de Radio Frecuencia

IF -- Sección de Frecuencia Intermedia

Figura 1.3 Repetidora de Frecuencia Intermedia o Heterodina.

La figura 1.3 muestra una repetidora IF en la que la información es transferida entre receptor y transmisor a nivel de Frecuencia Intermedia.

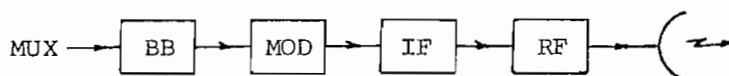
La primera ventaja del sistema de repetición IF es que se evitan los pasos de demodulación IF-BB y BB-IF usados en repetidoras banda base.

Además la eliminación de pasos de modulación innecesarios reduce algunas fuentes de ruido a la que la banda base que es una señal modulada en amplitud es muy sensible, disminuyendo además problemas de desalineamiento porque una repetidora IF no cambia la desviación de la señal que pasa por ella.

1.3 Composición de una estación terminal

Una estación terminal está compuesta por un multiplex, -- uno o más radios transmisores, uno o más radios receptores, un sistema de circuladores y filtros y una antena. En esta sección hablaremos sobre el transmisor y el receptor.

1.3.1 El transmisor



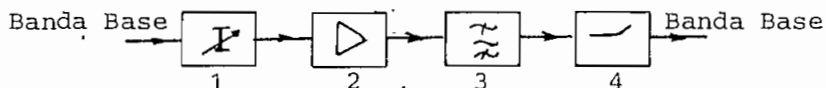
- BB -- Sección de Banda Base
- MOD -- Sección de Modulación
- IF -- Sección de Frecuencia Intermedia
- RF -- Sección de Radio Frecuencia

Figura 1.4 Transmisor Heterodino

Como se aprecia en la figura 1.4, un transmisor está com-

puesto por las secciones de Banda Base, de Modulación, Frecuencia Intermedia y Radio Frecuencia.

a) La sección de Banda Base (BB)



- | | |
|----------------|---------------------|
| 1 atenuador | 3 filtro |
| 2 amplificador | 4 red de preénfasis |

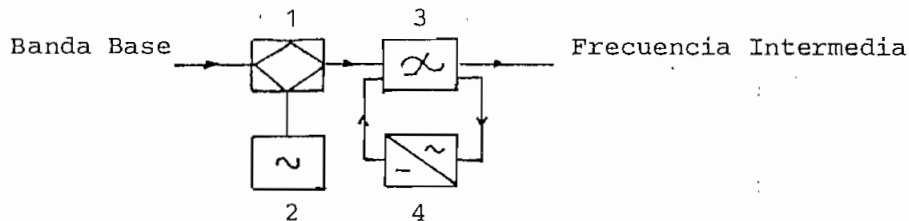
Figura 1.5 Sección de Banda Base

La figura 1.5 muestra la sección de Banda Base. La información proveniente del multiplex entra en esta sección que ajusta el nivel de la información por medio de atenuadores y amplificadores.

La banda de frecuencia es ajustada por medio de filtros. Una red de preénfasis (Recomendación CCIR 275) cambia la forma de la respuesta amplitud - frecuencia, para obtener en todo el rango de frecuencia deseada una relación señal a ruido optimizada, la cual será mantenida durante la transmisión.

b) Sección de Modulación

La Banda Base proveniente de la sección de Banda Base luego de amplificarse, filtrarse y aplicado el preénfasis entra en la sección de modulación.



- | | |
|-------------|-------------|
| 1 hibrido | 3 modulador |
| 2 oscilador | 4 AFC |

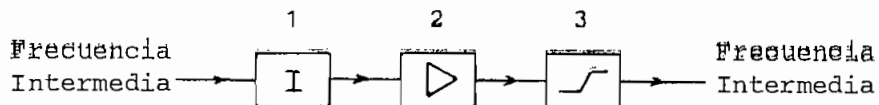
Figura 1.6 Sección de Modulación

La sección de modulación, modula la señal de banda base en frecuencia, la frecuencia central recomendada por el CCIR para radios de gran capacidad es 70 MHz (Recomendación CCIR 403-2).

Antes de la modulación, se agrega a la banda base un piloto de continuidad, que sirve para referencia e indicación en el lado de recepción de que el transmisor está enviando la señal de información desde el otro lado del enlace, de que el receptor funciona, y de que la relación Señal-Ruido en el receptor es aceptable.

c) Sección de Frecuencia Intermedia

La sección de frecuencia intermedia acondiciona a la información contenida en frecuencia.



- 1 atenuador
- 2 amplificador
- 3 limitador

Figura 1.7 Sección de Frecuencia Intermedia

La información contenida en frecuencia es acondicionada a un nivel específico y si es necesario se ajusta en fase y en amplitud para una condición de señal óptima.

Una limitación de amplitud es incorporada al final de la etapa de frecuencia intermedia para remover modulaciones de amplitud no deseadas.

El ajuste fase/amplitud y la limitación de amplitud, disminuye la distorsión que de otra manera ocurre en la sección de radio frecuencia debido a las no linealidades de los circuitos.

La limitación de amplitud puede ser usada sin problema - porque la información FM está contenida en fase y no en amplitud.

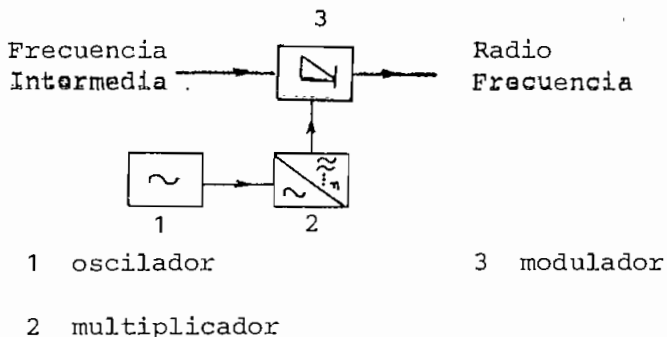


Figura 1.8 Sección de Radio Frecuencia

La sección de Radio Frecuencia, Figura 1.8 convierte la señal de frecuencia intermedia a la frecuencia requerida para la transmisión, este proceso es solamente un desplazamiento en frecuencia, no modulación de amplitud.

La frecuencia portadora de radio frecuencia, se obtiene generalmente de un oscilador, de unos 100 MHz, que junto con una cadena de multiplicación genera dicha frecuencia.

La señal de radio frecuencia viaja entonces a través de un sistema de filtros y circuladores a una antena parabólica, que por su alta direccionalidad requiere sólo de poca potencia para su transmisión.

1.3.2 El Receptor

La señal de radio frecuencia recibida, de muy baja potencia, típicamente entre -30 y -20 dBm, es llevada desde la antena == por una guía de onda al sistema de circuladores y filtros que dirige la señal al receptor adecuado.

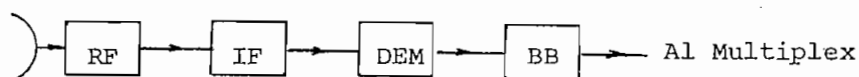


Figura 1.9 Secciones que componen un receptor heterodino

El receptor está formado por secciones similares que el transmisor pero conectados y operando en sentido inverso, las secciones del receptor son:

- Sección de Radio Frecuencia (RF)
- Sección de Frecuencia Intermedia (IF)
- Sección de Demodulación (DEM)
- Sección de Banda Base (BB)

a) Sección de Radio Frecuencia

La sección de radio frecuencia del receptor recobra la señal de frecuencia intermedia por medio de un mezclador que combina la señal de radio frecuencia con la de un oscilador local para producir la señal IF de 70 MHz.

b) Sección de Frecuencia Intermedia

A la entrada de la sección IF la señal es de muy baja potencia y se necesita amplificarla, además la señal recibida puede variar considerablemente en nivel y para asegurar que la siguiente etapa reciba una señal de nivel constante, un control automático de ganancia AGC se incluye en la sección IF. El AGC compensa variaciones en el orden de 45 dB en la señal recibida.

Además de amplificada la señal IF es corregida en frecuencia por medio de un filtro, luego ecualizada en fase con lo que se corrige el retraso de grupo y la fase diferencial de la señal.

Finalmente, un limitador de amplitud, similar al usado en el transmisor, asegura que una señal de amplitud constante pase a la sección de demodulación.

c) Sección de Demodulación

La sección de demodulación recobra la banda base contenida en la señal de frecuencia intermedia. El nivel de salida constante de la sección IF entra al demodulador el cual provee la salida de banda base.

d) Sección de Banda Base

La Banda Base que sale del demodulador entra en la sección de Banda Base donde es amplificada. Se remueve el efecto del

preénfasis por medio de una red de deénfasis.

Finalmente, la Banda Base entra al multiplex encargado de reproducir los canales telefónicos demodulando la banda base.

CAPITULO II

TECNICAS DE MEDICION PARA SISTEMAS FDM TRANSMITIDOS POR RADIO RELEVOS

2.1 Generalidades

Para llenar los requerimientos básicos de calidad de servicio y funcionamiento, un sistema de radio debe ser cuidadosamente diseñado, fabricado, instalado y mantenido. Puesto que las características de funcionamiento de un sistema son muy precisas, para mantener la calidad de transmisión, se deben periódicamente controlar los parámetros más importantes de funcionamiento, es decir, niveles de potencia del transmisor, la sensibilidad del receptor, desviación de frecuencia del modulador, estabilidad de frecuencia de los osciladores locales, ruido, etc.

Este capítulo desarrolla el principio que se usa para realizar estas mediciones y como muestra práctica se ha utilizado el tramo Quito-Atacazo-Quito de 16 Km, perteneciente al sistema de comunicaciones del I.E.TEL.

Las posiciones geográficas de las estaciones constan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
QUITO	00°03'12"S	78°30'30"	2.800 mts.
ATACAZO	00°18'50"S	78°35'10"	3.881 mts.

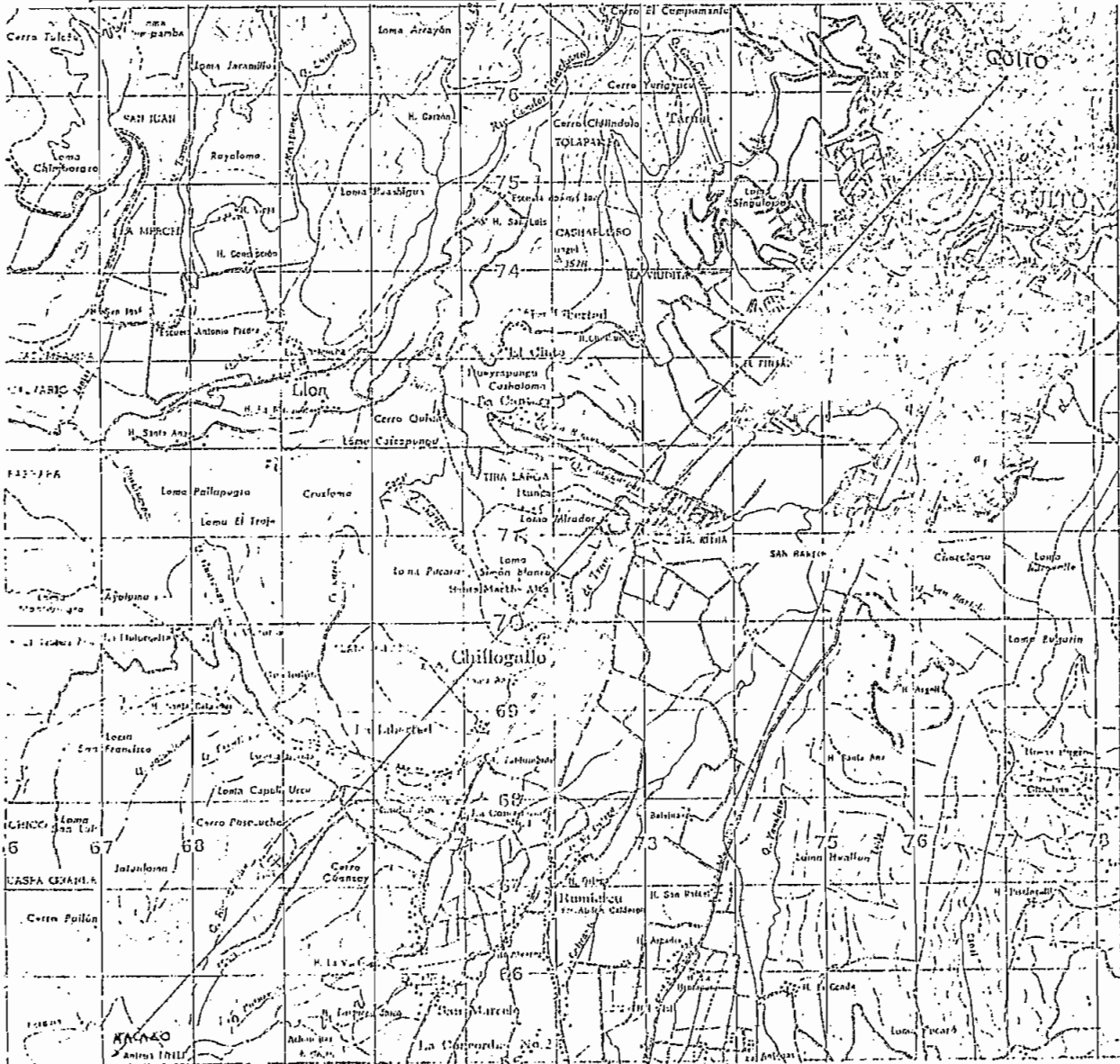


Figura 2.1 Características Geográficas del Tramo.

El sistema de radio sobre el que se realizan las mediciones tiene una configuración similar a la figura 2.2 y los datos técnicos -- constan en la tabla 2.2.

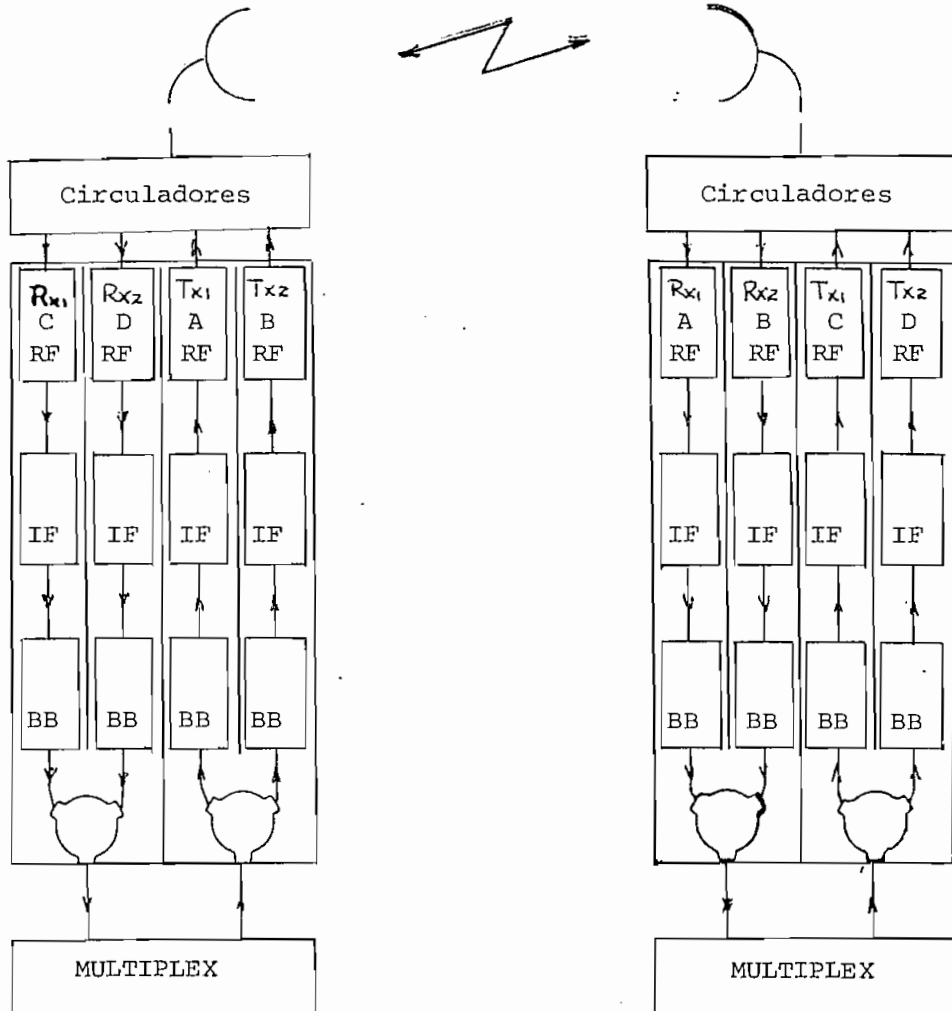


Figura 2.2 Configuración del Tramo Quito-Atacazo-Quito (Arreglo 1+1)

El sistema de radio Quito-Atacazo, figura 2.2, sobre el que se han -- realizado las medidas utiliza un arreglo (1+1), un canal de radio -- principal más uno de reserva que transmite simultáneamente la misma información telefónica.

Tabla 2.2

RADIO DE 960 CANALES, ZRL 7500-3, PRODUCTOR: L.M. ERICSSON

AÑO DE INSTALACION: 1976

DATOS GENERALES

Margen de Frecuencia	7425 - 7725 MHz
Plan de Frecuencia	CCIR Rec. 385 ó 386-1
Tipo de Modulación	Frecuencia Modulada
Desviación de Frecuencia	200 KHz r.m.s.
Enfasis	CCIR 275-1
Tipo de Repetidor	Banda Base
Valor del Sistema	≥ 139

DATOS DE BANDA BASICA

Márgenes de Frecuencia	60 - 4287 KHz
Impedancia	75 Ω desbalanceados
Nivel de entrada	-45 dBr
Nivel de salida	-20 dBr
Margen de ajuste	15 dB.
Piloto de continuidad	4715 KHz

DATOS DEL EMISOR

Frecuencia Central	70 MHz
Potencia de Salida	+ 25 dBm
Estabilidad de Frecuencia	mejor que 10^{-5}

DATOS DEL RECEPTOR

Factor de Ruido	≤ 8.5 dB
Estabilidad de Frecuencia	mejor que 10^{-5}
Margen de AGC	45 dB
Frecuencia Central de FI	70 MHz

2.2 Mediciones en la Sección de Radio Frecuencia

Algunas de las mediciones que se pueden realizar en la sección de Radio Frecuencia como pruebas de aceptación y mantenimiento de un sistema de radio relevos son:

- Potencia de salida del transmisor.
- Potencia de entrada al receptor.
- Frecuencia.

Para la realización de estas mediciones, en la mayoría de los casos, los fabricantes del equipo de radio aconsejan los aparatos de medida apropiados.

Una medida básica y útil para conocer el adecuado funcionamiento de un sistema de radio enlace por microondas, es la medida de la potencia de radio frecuencia. La medida de potencia en una sección de radio frecuencia (en este caso en frecuencia de microondas) se mide indirectamente, convirtiendo la potencia en calor.

La medida de frecuencia es una de las más básicas, puesto que la frecuencia es una cantidad fundamental y su conocimiento es a menudo importante porque depende solamente de las propiedades de la fuente de señal, y es constante en un sistema de transmisión dado.

2.2.1 Mediciones de Potencia

Podemos medir la Potencia en la salida del transmisor de microondas, Potencia de Salida, o en la entrada al Receptor, Potencia recibida.

La Potencia transmitida es un valor constante que se transmite con o sin información, en condiciones normales de funcionamiento; por esta razón su medida nos indica el correcto comportamiento o una falla en el transmisor del enlace.

La Potencia recibida depende de las condiciones de propagación que son variables.

Para un fácil examen y mantenimiento de sistemas de radio enlace, es necesario que el equipo de radio relevos, incorpore equipos supervisores e instrumentos de medida. Generalmente el equipo de radio incorpora un medidor que permite el chequeo de voltajes y corrientes esenciales en la operación del sistema, niveles de los pilotos transmitidos y recibidos, niveles de potencia de radio frecuencia de transmisión y recepción, etc. Así se puede supervisar fácilmente el funcionamiento de un equipo de radio.

Además de esta forma de medida rápida, el equipo de radio tiene puntos de medición accesibles, en los cuales se puede medir -

en forma más precisa los niveles de potencia de radio frecuencia de un transmisor o un receptor.

Las técnicas usadas para medir potencia en la sección de radio frecuencia son las de medición en altas frecuencias pero para bajas potencias (hasta de 1 watt), porque la potencia transmitida por un radio de microondas, generalmente es menor de un wattio, y ese es nuestro caso.

Los elementos capaces de medir potencia de microondas son básicamente divididos en dos categorías: detectores, bolómetros y termocuplas, cuya resistencia cambia con la potencia aplicada, y calorímetros que miden el cambio de temperatura de una conocida cantidad de líquido usada con la carga. Todos estos elementos miden potencia eficaz o r.m.s.

Los medidores de potencia con bolómetro son muy sensibles y capaces de medir potencias de algunos microwatios, pero no son -- apropiados para medir potencias altas, las que se pueden medir con los calorímetros.

Para las mediciones realizadas durante este trabajo se -- ha utilizado un medidor de potencia con bolómetro de termistor.

2.2.2 Aspectos generales de medidores de Potencia con Bolómetro

Para medir la potencia de radio frecuencia, la señal a medirse es aplicada a un material resistivo pequeño y es disipada como calor.

El cambio de resistencia causado por el incremento de temperatura es medido por un puente sensible a este cambio y calibrado en términos de Potencia de Radio Frecuencia.

Para medidas precisas, toda la potencia aplicada debe ser perfectamente absorbida por el material resistivo, las características del cual deben ser independientes de la frecuencia para lograr que el tamaño físico del elemento sea tan pequeño, como sea posible.

Bolómetro es un término común que se aplica a los termistores y a los barreters.

El termistor está hecho de una pieza muy pequeña de semiconductor y tiene un coeficiente de temperatura negativo, es decir que su resistencia disminuye con el aumento de temperatura.

El barreter está hecho de un alambre de platino muy fino, puede ser una película y tiene un coeficiente de temperatura positivo, es decir que aumenta su resistencia con el aumento de temperatura.

La variación de la resistencia de los elementos termistor y barreter, con la potencia incidente, se muestra esquemáticamente en la figura 2.3.

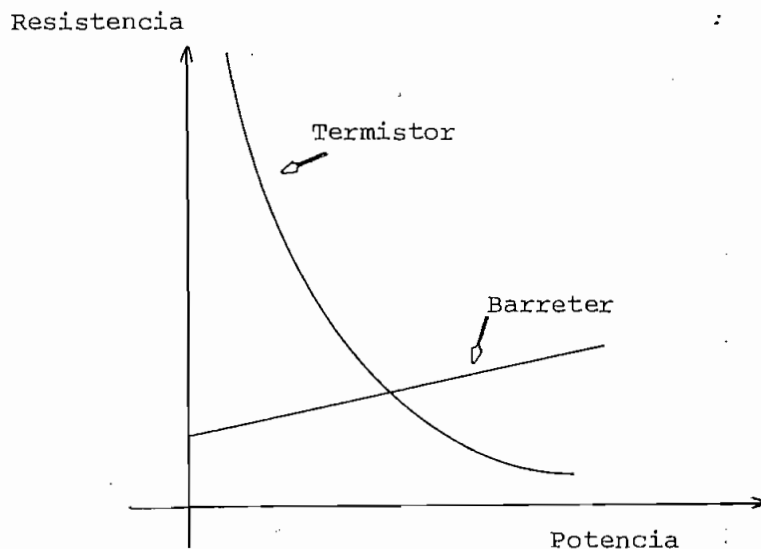


Figura 2.3 Característica de bolómetro típico (a 20°C)

La figura 2.3 muestra la característica Resistencia vs Potencia para un barreter y un termistor, mientras la resistencia del barreter aumenta linealmente con un aumento de potencia, la resistencia del termistor disminuye cuadráticamente con un aumento de temperatura. Esto se debe a los coeficientes de temperatura de los elementos. Además el termistor es más sensible que el barreter en el sentido de que para igual variación de potencia la variación de resistencia en el termistor será mayor.

Las siguientes comparaciones nos dan una idea de las características de un termistor y un barreter:

Características	Termistor	Barreter
Resistencia mecánica	fuerte	débil
Resistencia eléctrica	fuerte	débil
Sensibilidad	buena	mediana
Rango de acoplamiento	bueno	bueno
Influencia de temperatura	grande	pequeña
Velocidad de respuesta	mediana	buena
Error con frecuencia (bajo 10GHz)	despreciable	despreciable

La figura 2.4 muestra un circuito esquemático que sirve para visualizar el funcionamiento del medidor de potencia con termistor, como se aprecia en la figura el elemento sensible es parte de un puente de Wheatstone.

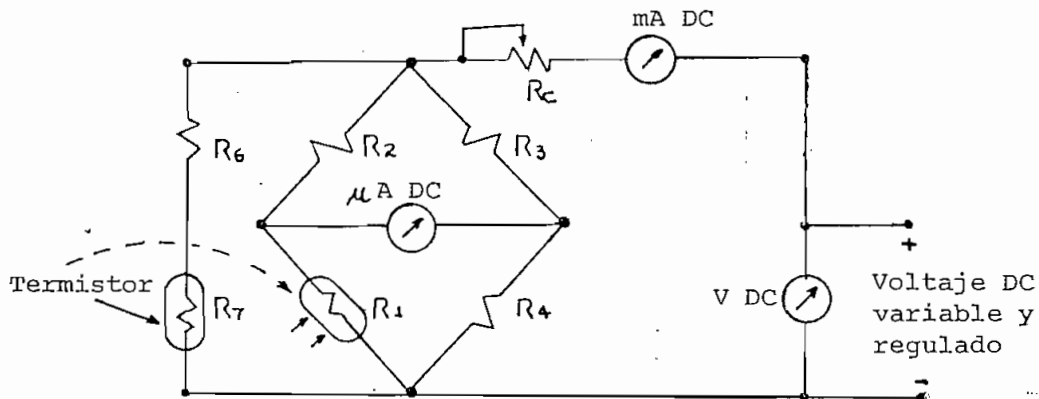


Figura 2.4 Medidor de Potencia de tipo de balance automático.

El puente es balanceado ajustando la resistencia de calibración R_c , que varía la potencia DC aplicada al puente y por lo tanto la resistencia del termistor. Este trabajo se realiza antes de aplicar la potencia a ser medida.

Al aplicar el medidor a la fuente de potencia a ser medida, el incremento de temperatura produce un cambio de resistencia en el termistor y el puente se desbalancea.

Entonces, para determinar la potencia se puede cambiar la potencia DC hasta obtener nuevamente balance, y calcular el incremento de potencia DC como el incremento de corriente por el voltaje DC aplicado e convertir la corriente del galvanómetro en una lectura de potencia RF equivalente.

Puesto que el bolómetro es un elemento sensible con la temperatura se provee una forma de compensación de temperatura para disminuir el error. Un método muy común es usar el compensador R_6 - R_7 . R_7 es idéntico a R_1 y sujeto a la misma temperatura ambiente. Si la temperatura de R_1 cambia también cambia en R_7 .

Para medir potencias mayores que el máximo permitido del aparato de medida, se usa un atenuador para reducir el nivel de potencia o en su caso un medidor de potencia calorimétrico, que generalmente tiene un rango mayor de medición.

001703

2.2.4 Medición de Potencia Transmitida

La figura 2.5, muestra los puntos de medición de potencia de salida y potencia después del equipo de ramificación.

La medición se realiza en los transmisores 1 y 2, hacia - Atacazo, de la estación Quito y los transmisores 1 y 2, hacia Quito, de la estación Atacazo.

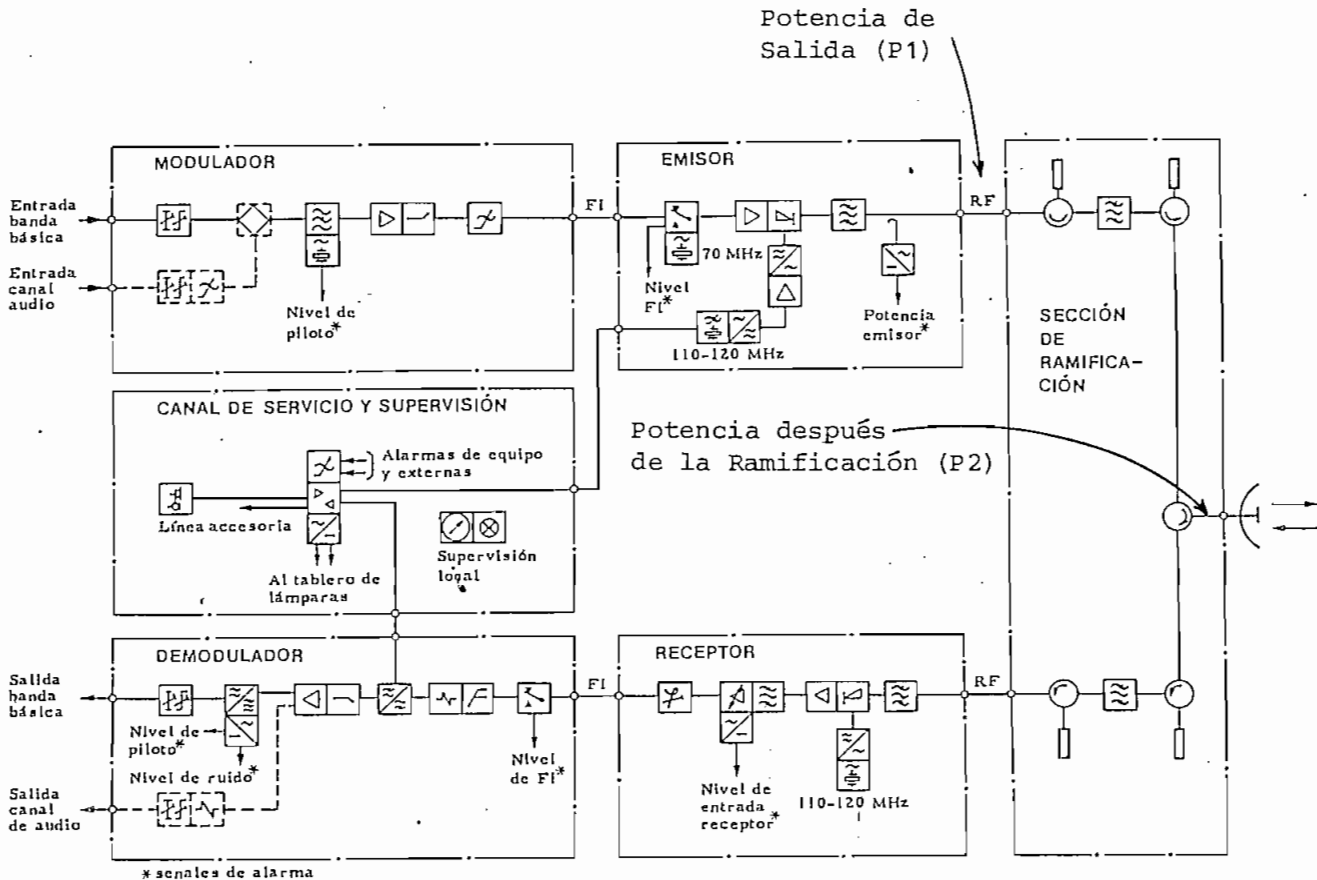


Figura 2.5 Puntos de Medición de Potencia transmitida.

Los valores obtenidos en la medición constan en la Tabla 2.3. Además en esta tabla consta la potencia nominal y rango de variación de la misma que es la que el fabricante da como característica del equipo.

Tabla 2.3

	QUITO		ATACAZO	
	Tx1	Tx2	Tx1	Tx2
Potencia de Salida P1	25.5	24.8	25.1	25.0
Potencia después de la Ramificación P2	24.2	22.8	24.4	23.9
Potencia de Salida Nominal	25±.5	25±.5	25±.5	25±.5
	dBm	dBm	dBm	dBm

A base de la tabla 2.3 y de las características de la guía de onda y antena se ha elaborado la tabla 2.4 con el propósito de conocer la potencia de salida total del sistema.

Tabla 2.4

	QUITO		ATACAZO		
	Tx1	Tx2	Tx1	Tx2	
Potencia de Salida P1	25.5	24.8	25.1	25.0	dBm
Atenuación de Ramificación	-1.3	-2	-0.7	-1.1	dBm
Atenuación de guía de onda A2 0.07 dB/mts.	-1.75	-1.75	-1.82	-1.82	dB
Ganancia de Antena Gt Ø 2 mts.	40.8	40.8	40.8	40.8	dB
Potencia Total de Salida	63.25	61.85	63.38	62.88	dBm

De la tabla 2.4 se desprenden los siguientes resultados:

- 1) La atenuación de ramificación no es constante para todos los -- transmisores puesto que depende de los filtros y del número de circuladores que debe atravesar la señal. El valor nominal de pérdidas dado por el fabricante es:

$$A1 \leq 0.8 + N 0.4 \text{ [dB]} \tag{2.1}$$

donde

A1 -- Atenuación de ramificación

N -- Número de circuladores por los que atraviesa la señal

- 2) La atenuación total en la guía de onda filtros y circuladores Afr se calcula como:

$$A_{fr} = A_1 + A_2 \quad (2.2)$$

La atenuación de la guía de onda es de 0.07 dB/mts. La longitud de la guía de onda en Quito es de 25 mts. y en Atacazo de 26 mts.

2.2.5 Medición de la Potencia de Recepción

Esta medida nos indica la potencia recibida en ciertas condiciones de propagación, las cuales son variables de acuerdo a las condiciones troposféricas.

Las pérdidas totales en un enlace, o un salto viene matemáticamente dada por:

$$A_t = A_o + A_{ft} + A_{fr} + A_f - G_t - G_r \quad [\text{dB}] \quad (2.3)$$

donde:

A_o -- Pérdidas en el espacio libre

A_{ft} , A_{fr} -- Atenuación en las guías de onda, filtros, circuladores del transmisor y receptor.

A_f -- Atenuación debido a desvanecimiento.

G_t , G_r -- Ganancia de las antenas.

Las condiciones de desvanecimiento, Af, dependen de los cambios troposféricos y con valores muy altos de desvanecimiento, una señal transmitida por un radio de microondas en frecuencia modulada, puede perderse en el ruido térmico, entonces se dice que se ha llegado al nivel umbral del receptor, en el cual la relación señal a ruido es típicamente menor de 10 dB.

Arreglos prácticos en sistemas de radio relevos proveen corte de la comunicación, cuando un valor umbral ajustable de ruido es alcanzado.

Dependiendo del margen umbral, el corte ocurre cuando existe 40 o 50 dB de desvanecimiento de la señal.

Para un mismo tramo de radio, existen diferentes condiciones de desvanecimiento unas severas y otras moderadas.

El problema del desvanecimiento, es tomado en cuenta en la planificación del enlace para calcular los valores de potencia de transmisión y el nivel de recepción que se deben proveer al enlace, así como también si es o no necesario usar diversidad de espacio en ese tramo.

Debido a que el nivel de potencia de entrada del receptor, es muy bajo, una medición directa con un medidor de potencia no es posible, pero el equipo de radio incorpora un medidor calibrado en dBm que indica la magnitud de la señal recibida.

La señal a ser medida se extrae del circuito de control -- automático de ganancia del amplificador de frecuencia intermedia -- (figura 2.6).

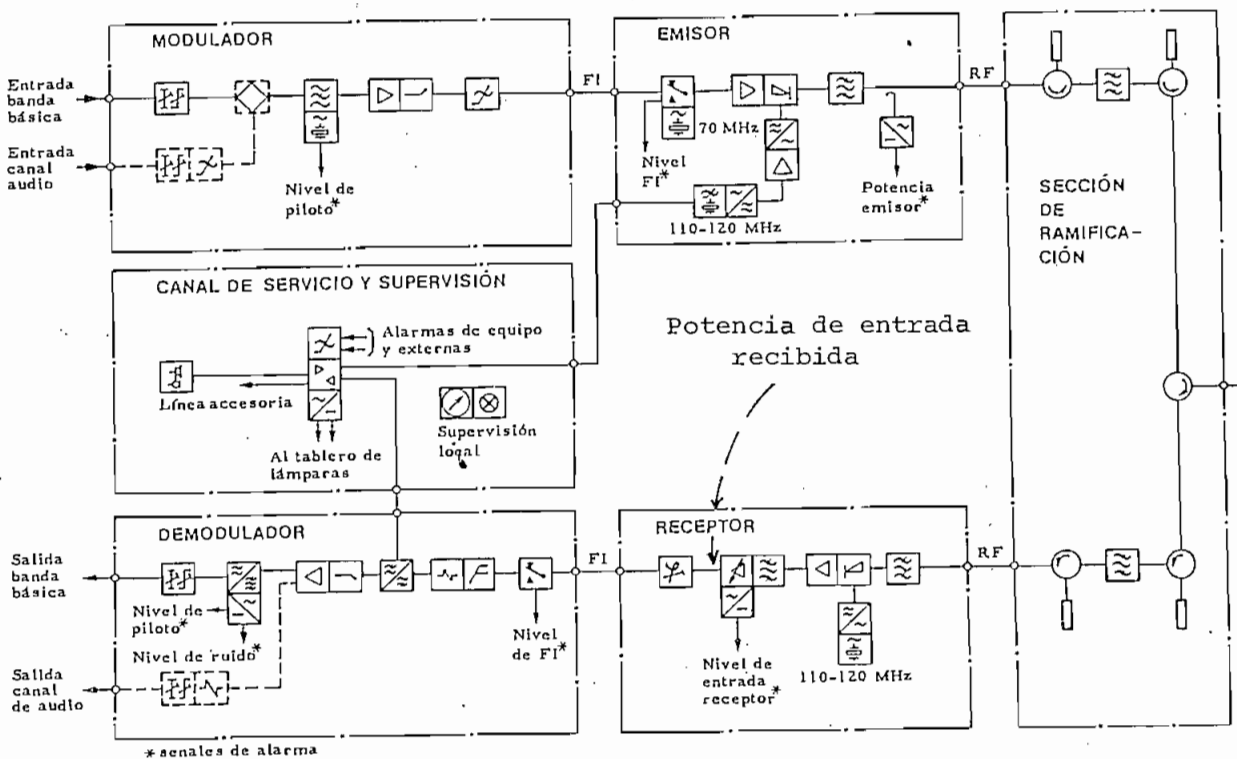


Figura 2.6 Puntos de Medición de la Potencia Recibida

La tabla 2.5 contiene los datos obtenidos aplicando el procedimiento descrito.

Tabla 2.5

	QUITO		ATACAZO	
	Rx1	Rx2	Rx1	Rx2
Potencia de Entrada recibida	-32	-33.3	-34	-34.8
Potencia de Entrada nominal	-33	-33	-33	-33
	dBm	dBm	dBm	dBm

2.2.6 Mediciones de Frecuencia

La medición de frecuencia se realiza con el objeto de conocer el funcionamiento de los osciladores tanto en el receptor como en el transmisor cuya calibración se desea chequear.

Estos osciladores deben funcionar dentro del rango de frecuencia en el que ha sido diseñado el enlace. La medida se puede realizar en forma rápida con el medidor incorporado al radio de microondas y en forma más precisa con un contador de frecuencias.

2.2.7 Aspectos generales de contadores de frecuencia

El contador de frecuencia cuenta el número de ondas sinusoidales que pasan por una compuerta en un período de tiempo definido.

La compuerta es controlada por la base de tiempo de un oscilador controlado a cristal. Por lo tanto su precisión depende de la precisión del oscilador de cristal.

El contador de frecuencias es un aparato de medida muy preciso y útil pero debe tomarse en cuenta de que ondas distorsionadas pueden mostrar lecturas incorrectas.

La mayoría de los medidores miden frecuencia totalizando el número de ciclos de una señal de entrada en un período de tiempo preciso y conocido.

Los elementos básicos de un contador convencional son:

- 1) Un contador en décadas con display numérico.
- 2) Una compuerta que controla el tiempo sobre el que la señal de entrada es totalizada.
- 3) Una base de tiempo que provee una referencia de tiempo para

la compuerta principal.

- 4) Divisores en década, que dividen la base de tiempo al valor de tiempo deseado para el cual la compuerta principal debe ser abierta.
- 5) Un amplificador involucrando un disparador de Schmitt, para formar la señal de entrada que pasará a los contadores en década y de ahí a los displays.
- 6) Circuitos lógicos de control que interconectan los circuitos apropiados para la medida deseada; selecciona las unidades apropiadas para las medidas y presentación en displays e inicialización del ciclo de medida.

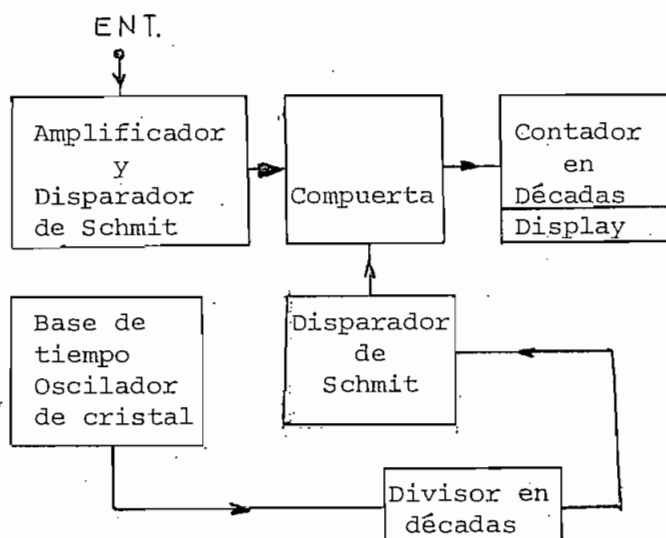


Figura 2.7 Diagrama en bloque de un contador de frecuencias

Como se ha dicho anteriormente la medición de frecuencia con un contador se realiza totalizando el número de pulsos derivados de la entrada durante el intervalo de compuerta abierta, que es la medida de la frecuencia promedio de entrada, para este intervalo de tiempo.

La cuenta obtenida es mostrada en un display, hasta que una nueva muestra esté lista para ser mostrada. El control de muestreo determina el tiempo entre muestras, inicializa al contador e inicia el próximo ciclo de medida.

En la forma anteriormente descrita se mide fácilmente hasta unos 150 MHz. Para incrementar el rango de frecuencia se usa generalmente las siguientes técnicas:

- 1) Preescalamiento
- 2) Conversión heterodina

Por preescalamiento se conoce a la técnica por la que, para aumentar el rango de frecuencia de medida se pone un divisor de frecuencia entre el amplificador-disparador de Schmitt y la compuerta principal. Si el factor de división es N el tiempo de compuerta será extendido en el mismo factor.

La conversión heterodina es un método mejor de medida

para altas frecuencias o señales de microondas.

Los convertidores heterodinos simplemente convierten la frecuencia a medirse, f_x , en una frecuencia f_d , en el rango del contador.

$$f_d = f_x - f_a \tag{2.4}$$

La frecuencia f_a , se obtiene multiplicando la base de tiempo con una frecuencia conveniente f_1 : (usualmente la frecuencia máxima directa del contador), y entonces se pasa la señal a través de un generador de armónicas.

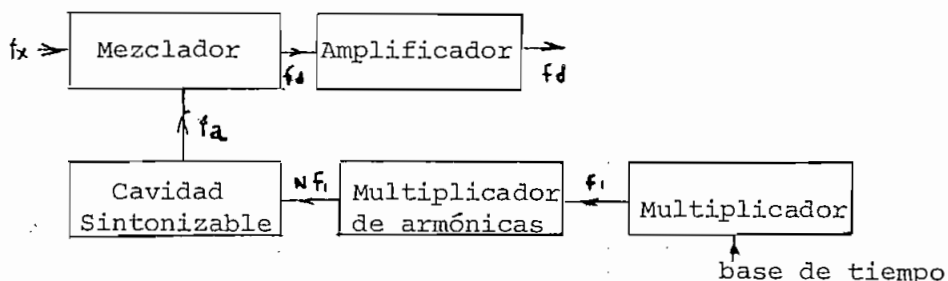


Figura 2.8 Operación básica de un convertidor heterodino

La armónica apropiada $Nf_1 = f_a$ es seleccionada por la cavidad sintonizada, figura 2.8 y pasada al mezclador.

La cavidad se opera desde un control en el panel frontal calibrado a la frecuencia f_a .

La diferencia de frecuencias $f_d = f_x - f_a$ es amplificada y medida por el contador.

A la lectura del contador el operador suma la frecuencia f_n para obtener la respuesta final f_x .

2.2.8 Características del Contador de Frecuencias

Productor: Hewlett Packard Modelo: 5340A

Señal de Entrada

Rango

10 Hz a 18 GHz

Sensibilidad

-30 dBm de 10 Hz - 500 MHz

-35 dBm de 500 MHz - 10 GHz

-25 dBm de 10 GHz - 18 GHz

Nivel de entrada máximo

+ 30 dBm

2.2.9 Medición de Frecuencia de Osciladores Locales y Frecuencia RF

La figura 2.9 muestra los puntos donde se miden las diferentes frecuencias.

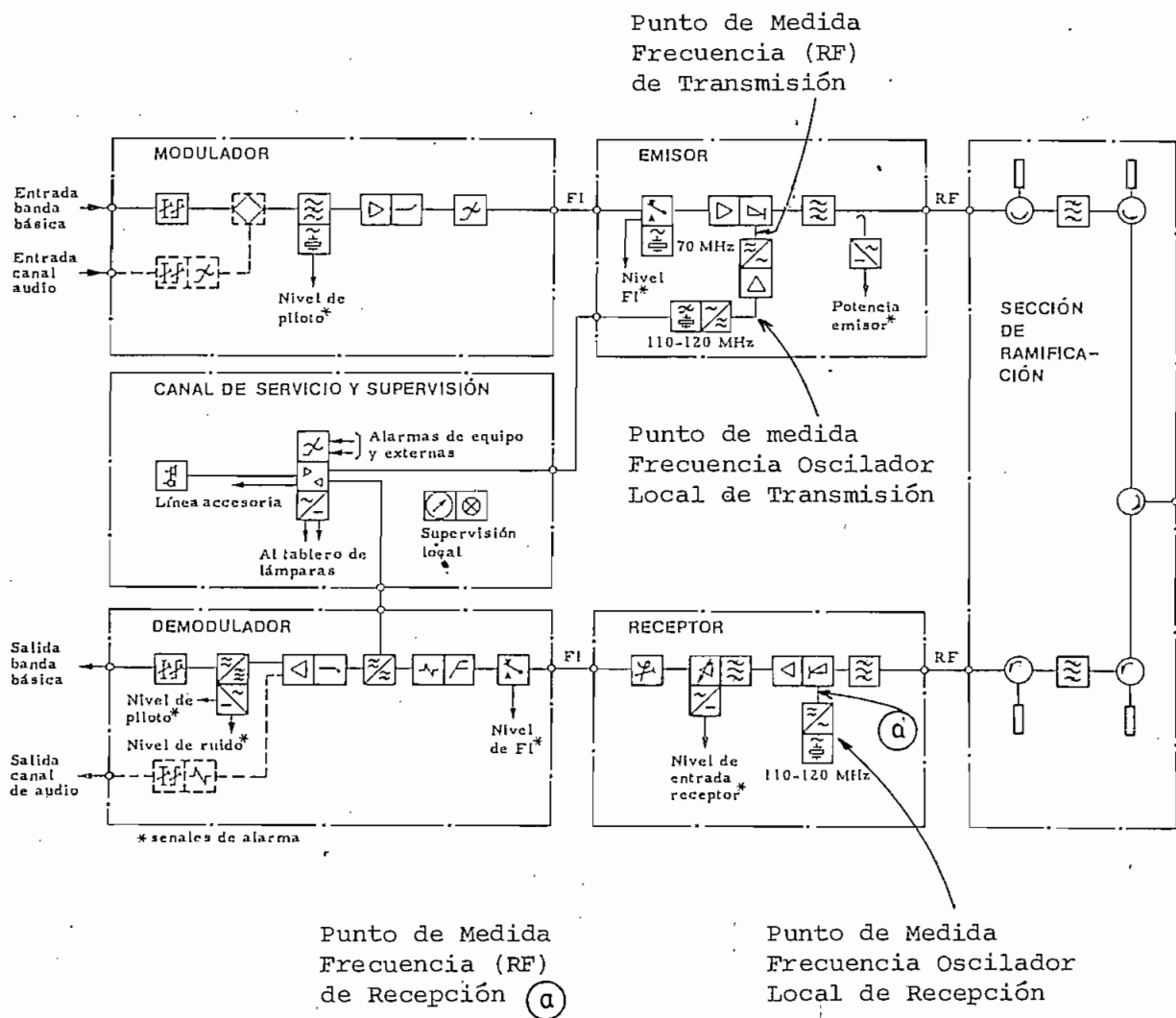


Figura 2.9 Puntos de medida para Frecuencias

La tabla 2.6 contiene los valores de frecuencia medidos en los diferentes puntos anotados en la figura 2.9.

Tabla 2.6	Q U I T O		A T A C A Z O		
	Tx1	Tx2	Tx1	Tx2	
Frecuencia Oscilador Local (Medido)	470.5198	473.4369	461.0441	463.9559	MHz
Frecuencia Oscilador Local (Nominal)	470.5203	473.4358	461.0444	463.9599	$\pm 2 \times 10^{-3}$ MHz
Frecuencia RF medida	7598.317	7644.960	7446.706	7493.983	MHz
Frecuencia RF nominal	7598.324	7644.972	7446.710	7493.358	MHz
	Rx1	Rx2	Rx1	Rx2	
Frecuencia Oscilador Local (Medido)	461.0441	463.9559	470.5198	473.4344	MHz
Frecuencia Oscilador Local (Nominal)	461.0444	463.9599	470.5203	473.4358	$\pm 2 \times 10^{-3}$ MHz
Frecuencia RF medida	7446.6056	7493.2944	7598.4990	7644.9344	MHz
Frecuencia RF nominal	7446.710	7493.358	7598.324	7644.972	MHz

2.3 Mediciones en la Sección de Frecuencia Intermedia

Las medidas más comunmente realizadas en la sección de frecuencia intermedia son:

- Nivel de IF.
- Frecuencia central IF.
- Distorsión de retraso de grupo IF.

Existen otras mediciones que dan resultados similares o compatibles, y por esta razón se analizan sólo las antes mencionadas.

2.3.1 Medición de Nivel de Salida (Frecuencia Intermedia)

Esta medición conocida también como medición de nivel IF indica el funcionamiento, en cuanto a nivel de la sección de frecuencia intermedia.

La recomendación 403-2 CCIR da un valor, de 0.5 Volts r.m.s, para el voltaje de salida de la señal de frecuencia intermedia.

Además la impedancia recomendada para circuitos de frecuencia intermedia (Recomendación 403-2) es de 75Ω (desbalanceado) lo que indica que la potencia de salida de la sección de frecuencia intermedia será 5.2 dBm.

El rango de variación de nivel IF no está dado por la recomendación CCIR 403-1, quedando este valor, sujeto a acuerdo entre administraciones para comunicaciones internacionales.

La variación que da el fabricante del equipo en cuanto a nivel IF es 5.2 ± 0.5 dBm.

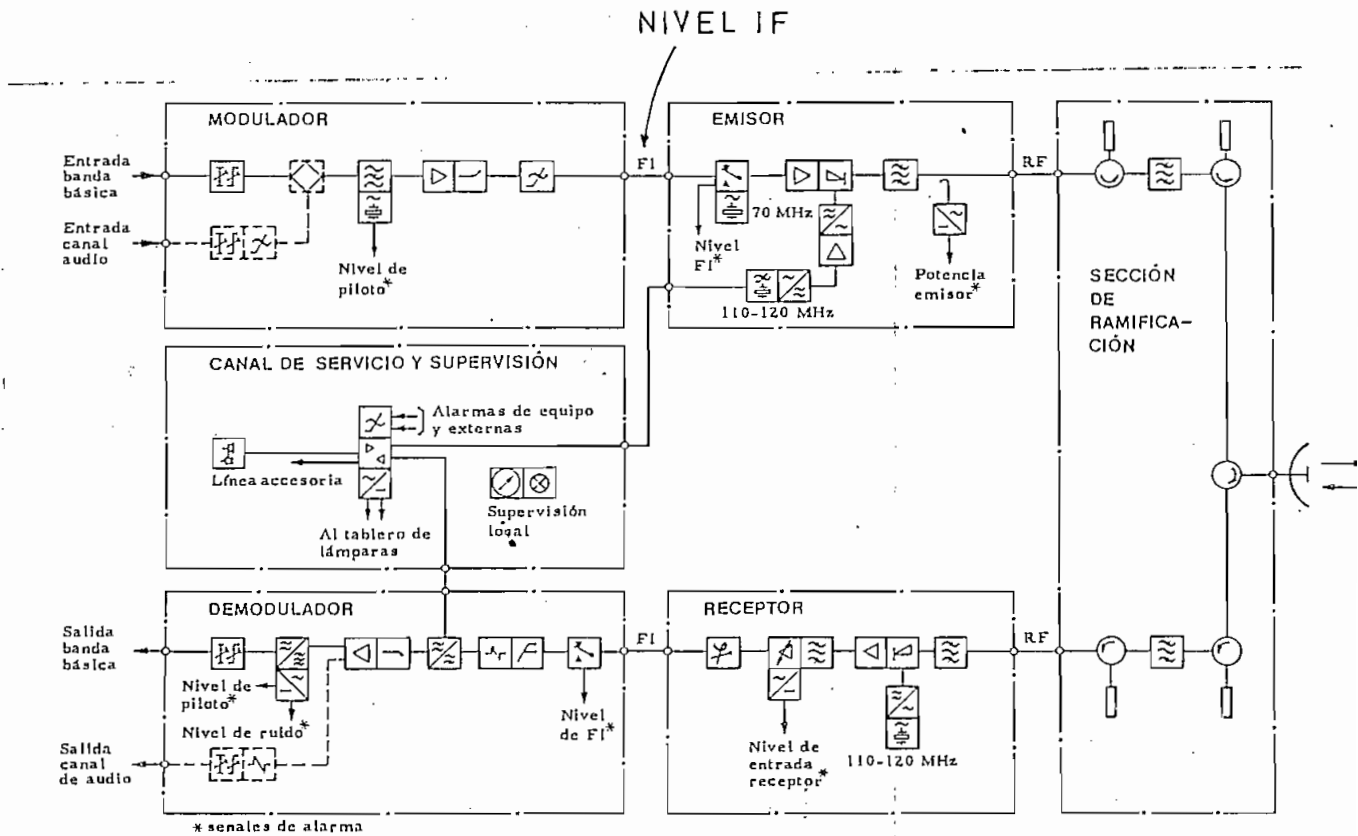


Figura 2.10 Puntos de Medición para Nivel de Salida IF

La tabla 2.7 contiene los valores obtenidos en las mediciones de nivel de IF.

Tabla 2.7

	QUITO		ATACAZO		
	Tx1	Tx2	Tx1	Tx2	
Nivel de Salida IF	0.5	0.5	0.53	0.52	Volts r.m.s.

2.3.2 Mediciones de Frecuencia Intermedia

Con esta medición se trata de medir la frecuencia central IF del modulador de FM. (La medida se realiza sin tráfico, es decir sin que la banda base sea modulada por la portadora IF).

El CCIR (Recomendación 403-2) recomienda 70 MHz para el valor central de frecuencia intermedia, para radios de hasta 1800 canales que emplean frecuencias mayores que 1 GHz.

La figura 2.11 muestra el punto de medición de frecuencia intermedia o Frecuencia Central IF.

La tabla 2.8 contiene las mediciones realizadas en los moduladores de frecuencia de los transmisores 1 y 2, en las estaciones Quito y Atacazo.

FRECUENCIA IF

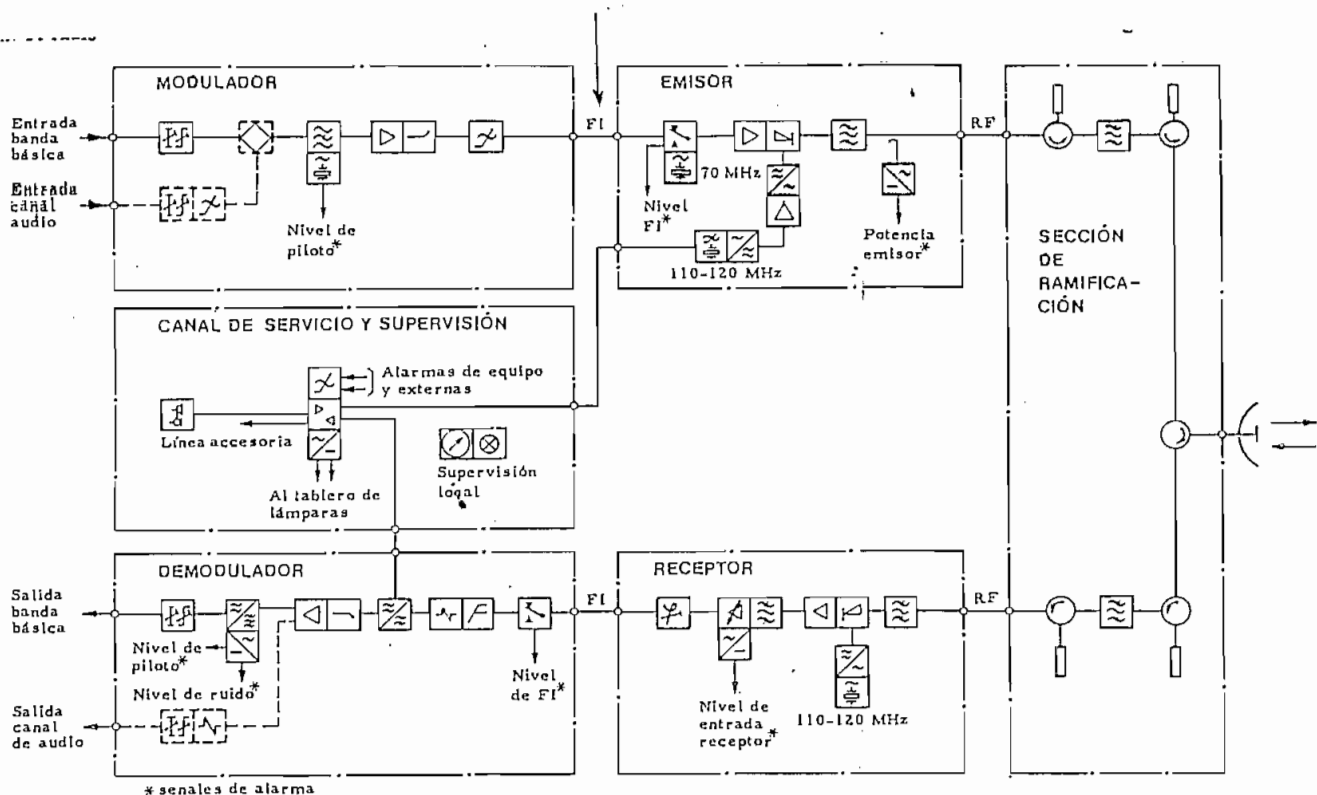


Figura 2.11 Punto de Medición para Frecuencia Intermedia

Tabla 2.8

	QUITO		ATACAZO	
	Tx1	Tx2	Tx1	Tx2
Frecuencia IF medida	70.0136	69.9916	70.0309	70.308
Frecuencia IF nominal	70 ± 1	70 ± 1	70 ± 1	70 ± 1
	MHz	MHz	MHz	MHz

2.3.3 Mediciones de Retraso de Grupo

En sistemas de radio de microondas de frecuencia modulada, una de las mayores fuentes de distorsión es la respuesta de retraso de grupo en la sección de frecuencia modulada, es decir la parte del radio transmisor después de la modulación en FM hasta antes de la de modulación, en el receptor.

En un sistema de transmisión ideal la portadora FM y las - bandas laterales se transmiten en un mismo tiempo, es decir tienen - la misma relación de fase a la entrada y salida del sistema.

De lo anterior se deduce que en un sistema de transmisión ideal, la fase ϕ , es directamente proporcional a la frecuencia angular ω , es decir el sistema debe tener una característica fase vs -- frecuencia lineal, figura 2.12.

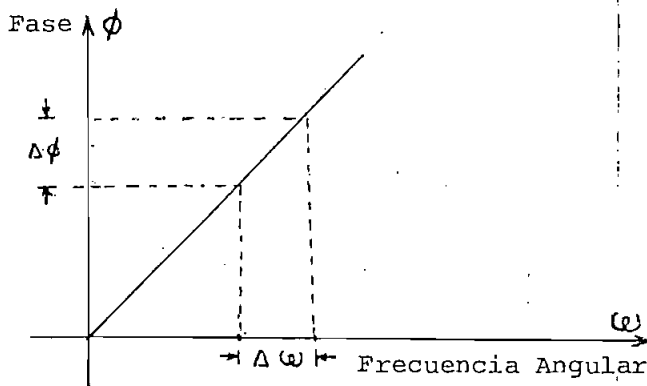


Figura 2.12 Característica fase vs frecuencia ideal

En el caso ideal de la figura 2.12 el tiempo de transmisión es la pendiente de la respuesta fase vs frecuencia angular.

Teóricamente, el tiempo de transmisión o tiempo de tránsito se define como el tiempo requerido por un voltaje o corriente para -- que viaje a través del camino de transmisión.

$$t = \frac{\phi}{\omega} = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} \quad (2.5)$$

dónde t -- es el tiempo de transmisión

ϕ -- es la fase de la señal

ω -- es la frecuencia angular de la señal

Sin embargo, en casos reales, la característica fase vs frecuencia angular es raramente lineal y el tiempo de transmisión varía con la frecuencia.

A la medida de la distorsión que ocurre por esta variación en tiempo, se llama retraso de grupo. El retraso de grupo se define como la derivada de la característica fase vs frecuencia angular.

$$\text{Retraso de Grupo } \tau_g = \frac{d\phi}{d\omega} \quad [\text{n seg}] \quad (2.6)$$

En el caso ideal el retraso de grupo es constante a todas las frecuencias e igual al tiempo de transmisión.

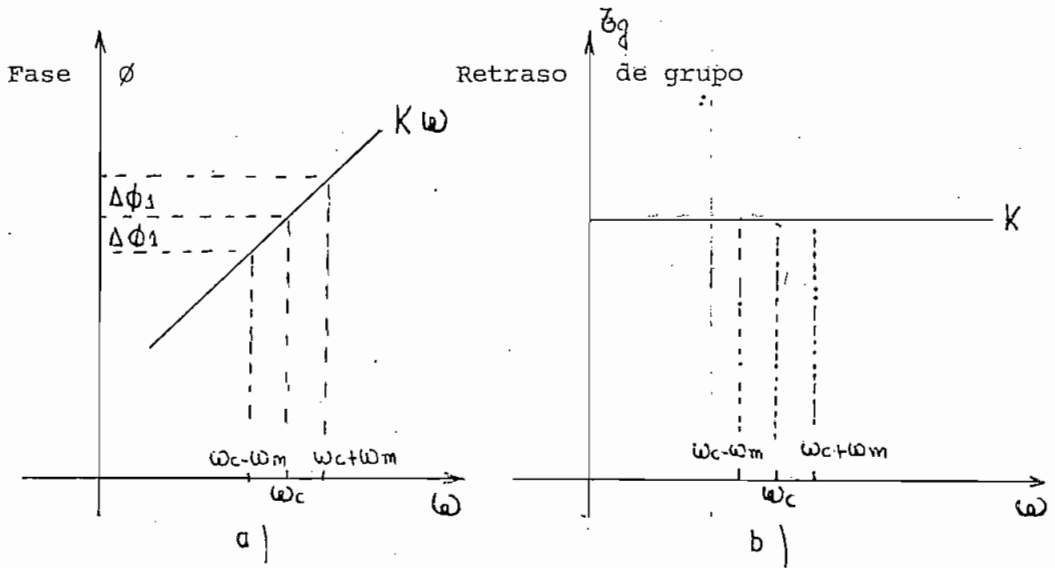


Figura 2.13 Características:

- a) Fase vs Frecuencia angular, lineal
- b) Retraso de grupo vs frecuencia angular, constante

Para una característica de fase vs frecuencia lineal, figura 2.13, el retraso de grupo es constante y las bandas laterales son modificadas en forma igual, en fase, con respecto a la portadora. Si por ejemplo la primera banda lateral superior a la portadora sufre un incremento de fase $\Delta\phi_1$, la primera banda lateral inferior a la portadora sufrirá un decremento de fase $\Delta\phi_1$ con respecto a la fase de la portadora.

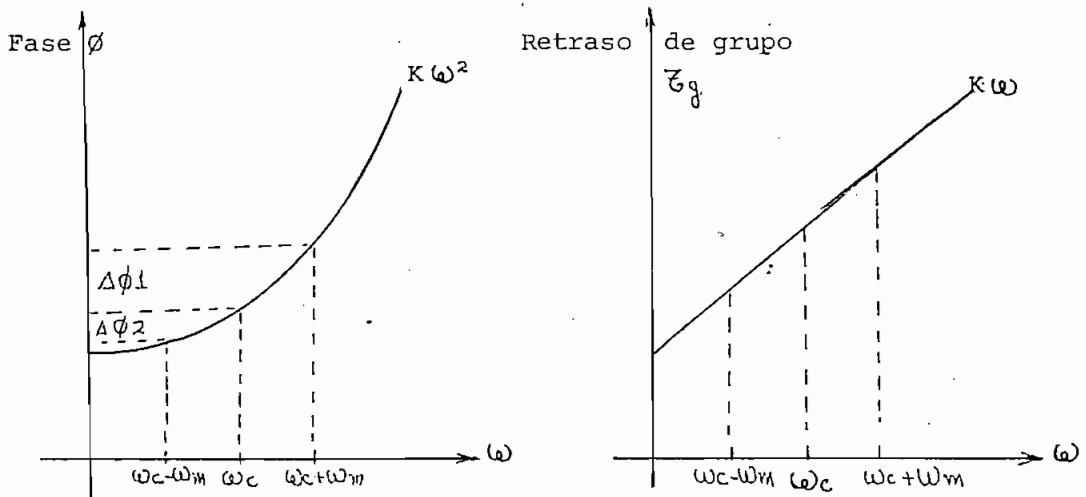


Figura 2.14 Características:

- a) Fase vs frecuencia angular parabólica
- b) Retraso de grupo vs frecuencia angular constante.

Para una característica de fase vs frecuencia angular parabólica, figura 2.14, el retraso de grupo varía linealmente con la frecuencia y las bandas laterales no son modificadas en forma igual en fase, con respecto a la portadora.

Si por ejemplo la primera banda lateral superior a la portadora, sufre un incremento de fase $\Delta\phi_1$, la primera banda lateral inferior a la portadora sufrirá un decremento de fase $\Delta\phi_2$. ($\Delta\phi_1 \neq \Delta\phi_2$). Esta deformación causa en el proceso de demodulación de la señal de FM los siguientes efectos.

- 1) distorsiones ecualizables o que hay como suprimir en la Banda Base,

tales como variaciones de la respuesta amplitud frecuencia en la banda base.

- 2) distorsión armónica que produce ruido.
- 3) distorsión de intermodulación producida por mezclas de los componentes de la banda base, que no es posible suprimir como las dos anteriores. Por esta razón es necesario mantener este tipo de distorsión al mínimo.

La distorsión causada por retraso de grupo puede ser reducida y a veces hasta prevenida por ecualización.

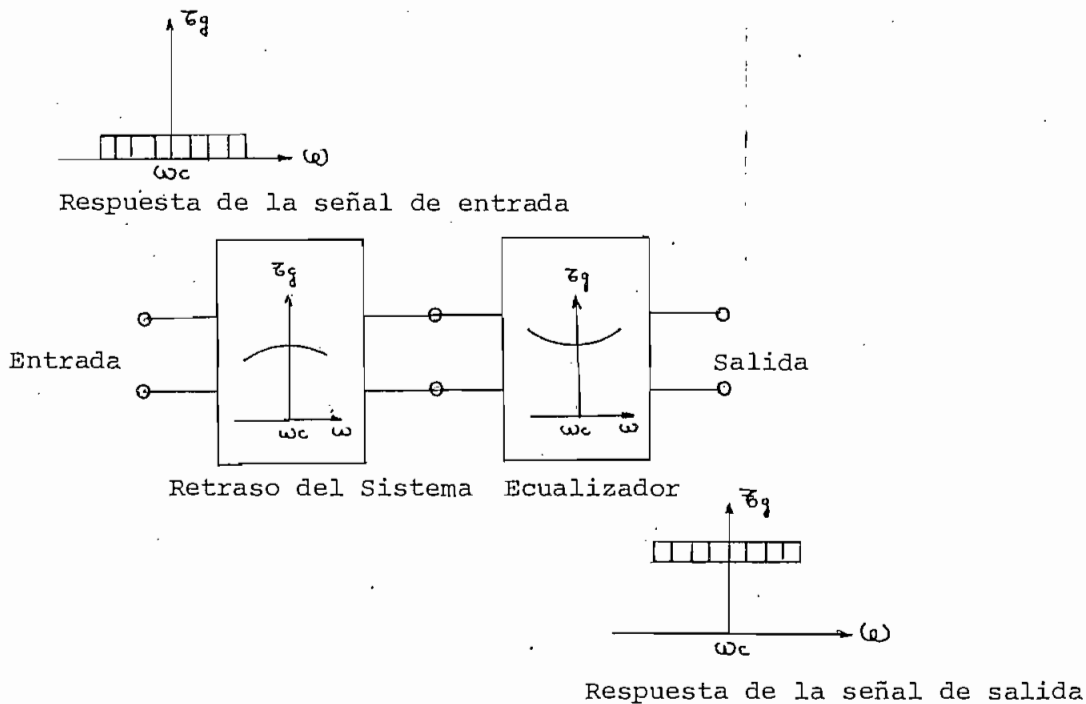


Figura 2.15 Proceso de ecualización para el retraso de grupo

Una ecualización se realiza poniendo una unidad con una característica inversa de retraso de grupo, inmediatamente después de la unidad que causa el retraso de Grupo. Esto teóricamente producirá una característica de retraso de grupo constante (figura 2.15).

2.3.4 Principio de medida de retraso de grupo

En la práctica para medir el retraso de grupo en las secciones IF se alimenta el sistema en prueba con una señal de un bajo nivel y alta frecuencia, superimpuesta en una de alto nivel y baja frecuencia y modulada en frecuencia.

Al otro lado del enlace, la señal es recobrada y el corrimiento de fase entre la señal original y la que se introduce en el sistema es detectado.

Si el retraso de grupo es constante, todas las frecuencias son transmitidas en el sistema con un retraso de grupo igual, las bandas laterales y la portadora FM permanecerán en la misma relación constante de retraso de grupo.

Como la característica retraso de grupo vs frecuencia angular es raramente constante aun con el ecualizador de retraso de grupo, entonces las diferentes bandas laterales son transmitidas en el sistema con diferentes retrasos de grupo que causará ruido en el receptor del enlace de microondas.

Para minimizar el ruido producido por el retraso de grupo, este valor debe estar entre ciertos límites dados por el fabricante del equipo, 5 n seg es un valor típico.

Para medir el retraso de grupo utilizaremos un analizador de enlace de microondas, el analizador está compuesto de un transmisor y un receptor.

El transmisor genera la señal de prueba modulada en frecuencia con un índice de modulación menor que la unidad que implica que sólo las bandas laterales primeras son apreciables. Esta señal es introducida en la sección IF del transmisor.

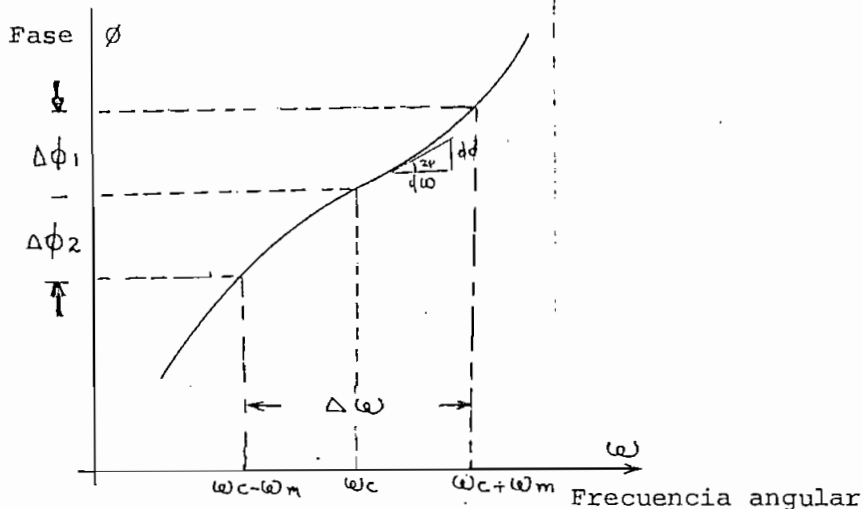


Figura 2.16 Característica fase vs frecuencia angular

Ahora, si consideramos la señal IF con una frecuencia angular central ω_c y las bandas laterales con frecuencias angulares --

$(\omega \pm \omega_m)$ figura 2.16 el corrimiento de fase entre las bandas laterales no es igual.

Si la frecuencia de la señal de prueba ω_m es lo suficientemente pequeña, se puede medir en la característica fase vs frecuencia angular el retraso de grupo, y si la portadora es barrida en el rango IF se puede medir la variación del retraso de grupo sobre este rango.

Desde un punto de vista teórico, parece que para medir el retraso de grupo, por este método, la frecuencia del tono de prueba modulante (figura 2.16) debe ser cero es decir $\Delta\omega \rightarrow 0$. En la práctica sin embargo el ruido aumenta cuando $\Delta\omega$ se reduce y los valores prácticos aceptables para la frecuencia de banda base están en el rango de 80 a 500 KHz.

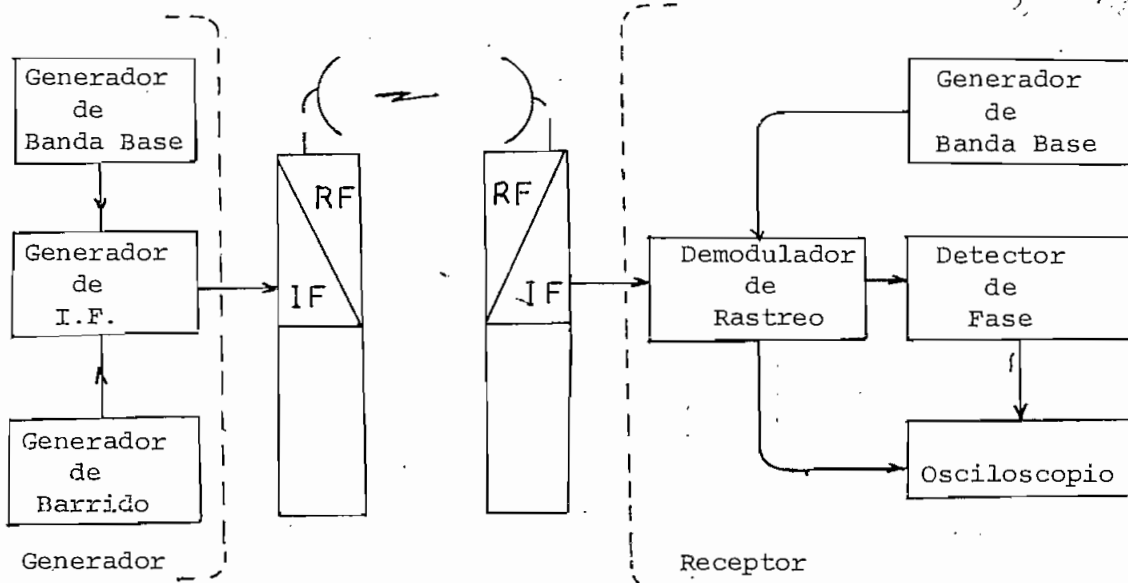


Figura 2.17 Medición de retraso de grupo con Analizador de Enlace de Microondas.

La señal de un generador de frecuencia intermedia figura 2.17 es modulada en frecuencia con un tono de prueba, tono de banda base con barrido, para obtener la portadora y bandas laterales deseadas.

Luego de pasar por el sistema en prueba un demodulador de rastreo busca continuamente la señal IF barrida. En el proceso de seguir a la señal IF el demodulador de rastreo regenera la señal de barrido que es usada como base de tiempo del osciloscopio.

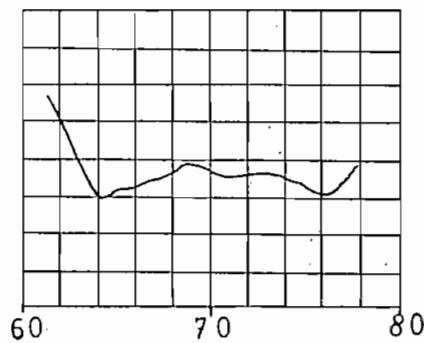
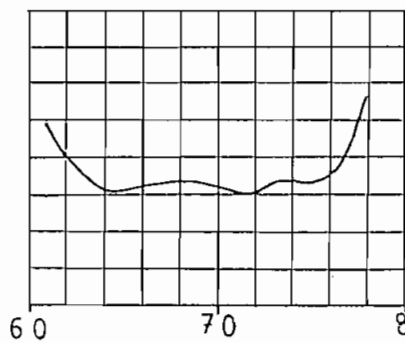
La señal de Banda Base (tono de prueba) que sale del demodulador es comparado en un detector de fase con una señal de Banda Base precisa como la original del transmisor, en un osciloscopio se mostrará la distorsión de retraso de grupo sobre el rango de frecuencia intermedia.

Los resultados de las mediciones en el sistema se indican en los gráficos de la figura 2.18 y 2.19 que son las que se ven en un osciloscopio parte del medidor del analizador de enlace.

CARACTERÍSTICA DE RETRASO DE GRUPO

1 nseg/div.

1 nseg/div.



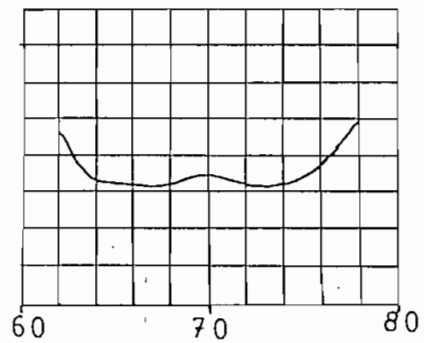
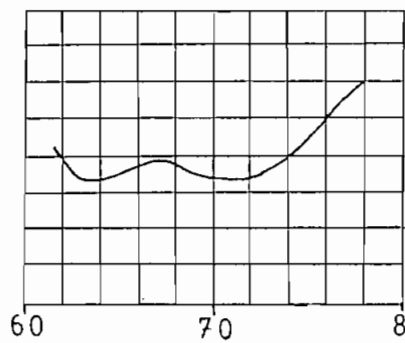
Sistema 1

Sistema 2

Figura 2.18 Característica de Retraso de Grupo tramo Quito-Atacazo

1 nseg/div.

1 nseg/div.



Sistema 1

Sistema 2

Figura 2.19 Característica de Retraso de Grupo tramo Atacazo-Quito

Las figuras 2.18 y 2.19 indican un correcto funcionamiento de las secciones IF en el tramo, porque cumplen con las especificaciones dadas por el fabricante.

La figura 2.20 indica la característica de retraso de grupo que es aceptable para un rango de frecuencia ($70 \pm 8\text{MHz}$), el retraso de grupo deberá ser menor de cuatro nanosegundos. ($\tau_g \leq 4 \text{ nsec}$).

Característica de retraso de grupo especificada por el fabricante.

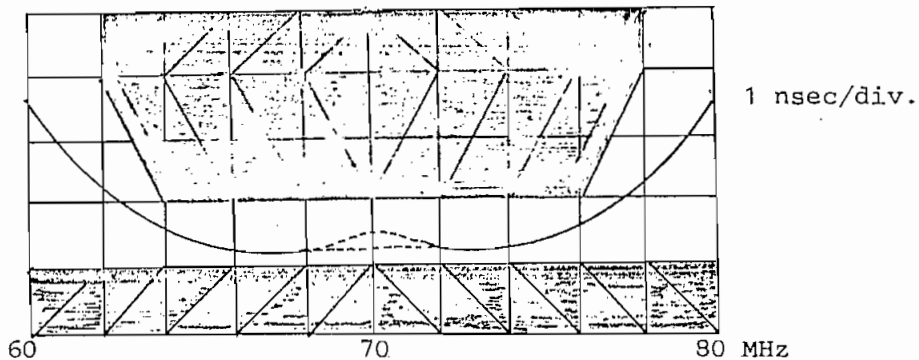


Figura 2.20 Característica de Retraso de Grupo IF-IF según las especificaciones del fabricante.

Según la figura 2.20, recomendaciones del fabricante, el retraso de grupo debe variar entre los límites dados en la figura, no siendo aceptable una variación que penetre en la sección sombreada.

2.4 Mediciones en la Sección de Banda Base

Las mediciones que se realizan en la sección de Banda Base son entre otras las siguientes:

- Respuesta Amplitud Frecuencia
- Mediciones de Ruido del Enlace de Microondas.

2.4.1 Mediciones de Respuesta Amplitud Frecuencia

La medición de Respuesta Amplitud vs Frecuencia se puede realizar en las secciones de Banda Base del transmisor o transmisores y del receptor o receptores para conocer si su funcionamiento es correcto.

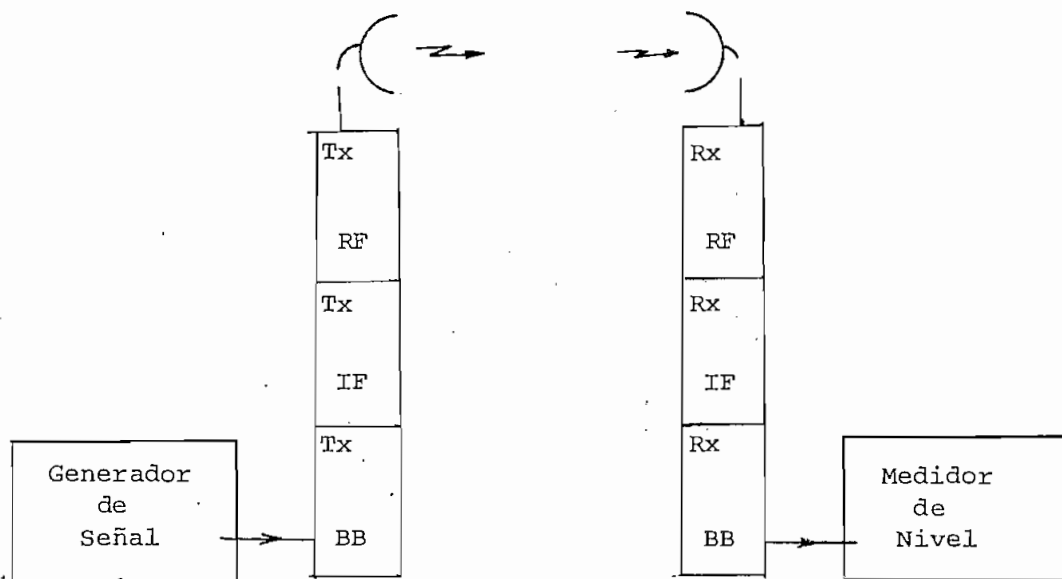


Figura 2.21 Medición de la Respuesta Amplitud Frecuencia BB de un tramo.

La medición de Respuesta Amplitud vs Frecuencia que primero se debe realizar involucra la puesta fuera de tráfico de un transmisor y su respectivo receptor al otro lado del tramo.

Si la respuesta Amplitud-Frecuencia medida en el tramo está dentro de los límites para un buen funcionamiento no es necesario chequear las secciones de Banda Base del transmisor y el receptor involucrados por separado.

Para esta medida se usa como transmisor un generador de señal y un medidor del nivel de señal.

El generador de señal provee una señal de salida sinusoidal que puede variarse en frecuencia y amplitud; luego de ajustado el valor de amplitud se varía el valor de frecuencia, desde la frecuencia menor de la banda base involucrada hasta la frecuencia mayor. Al mismo tiempo al otro lado del enlace se va midiendo el nivel recibido a determinada frecuencia (la que ese momento tiene el generador).

Las mediciones realizadas para conocer la respuesta amplitud frecuencia en el tramo Quito-Atacazo entre las secciones de Banda Base constan en la tabla 2.9.

Tabla 2.9

TRAMO	ATACAZO-QUITO		QUITO-ATACAZO	
Frecuencia	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 1	Sistema 2
60	-19.70	-20.10	-19.90	-19.25
100	-19.50	-20.05	-19.85	-19.70
200	-19.65	-20.10	-19.90	-19.71
1000	-19.85	-20.30	-20.12	-20.00
2000	-20.00	-20.50	-20.35	-20.20
2546	-20.10	-20.60	-20.40	-20.29
3000	-20.05	-20.55	-20.35	-20.38
4000	-19.95	-20.50	-19.90	-20.08
4287	-20.05	-20.70	-20.08	-20.80
KHz	dBm	dBm	dBm	dBm

A base de la Tabla 2.9 que contiene la respuesta Amplitud Frecuencia, entre secciones Banda Base, que involucra un transmisor y su respectivo receptor al otro lado del tramo, se han realizado -- las figuras 2.22 y 2.23.

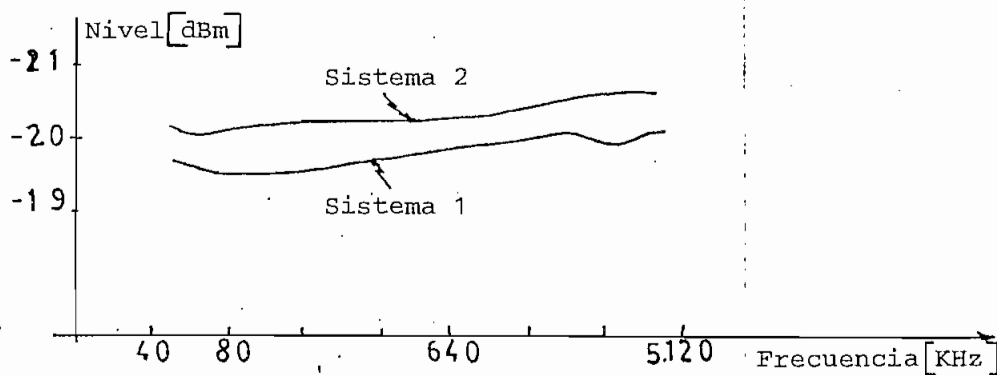


Figura 2.22 Respuesta Amplitud-Frecuencia tramo Quito-Atacazo

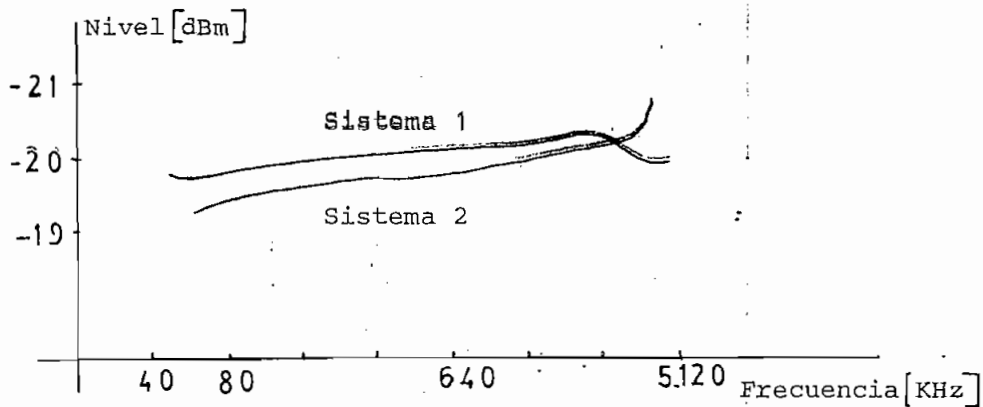


Figura 2.23 Resposta Amplitud-Frecuencia tramo Atacazo-Quito

De las figuras 2.22 y 2.23 sacamos la conclusión de que está dentro del rango de variación recomendado para un buen funcionamiento del tramo (20 ± 1 dBm).

Además el ancho de banda del sistema en la sección de banda base es mayor que 4.227 KHz.

2.4.2 Mediciones de Ruido.- Generalidades

Un parámetro muy importante para la evaluación del funcionamiento de un sistema de radio relevos que transmite información de un multiplex por división de frecuencia es el Ruido.

Idealmente el ruido debería ser completamente eliminado, pero desafortunadamente el costo del sistema aumenta muy rápidamente sin que el ideal sea alcanzado, por esto los sistema de

transmisión son diseñados con un nivel de ruido aceptable.

Por ejemplo en sistemas de radio enlace el circuito de referencia, de acuerdo con el CCIR (Recomendación CCIR 392), consiste de tres secciones de moduladores de canal, seis secciones de moduladores de grupo, nueve secciones de moduladores de supergrupo. Al final del enlace, Recomendación 393-2, el ruido sofométricamente ponderado en un canal telefónico debe ser menor que 10.000 pwop, divididos en 7.500 pwop en el camino de transmisión y 2.500 pwop en ruido de equipo. El ruido del camino de transmisión corresponde a 3 pwop/Km.

Sofométricamente ponderado significa que en la medida hecha en un canal telefónico se ha tomado en cuenta la respuesta auditiva humana, la cual no es lineal con la frecuencia.

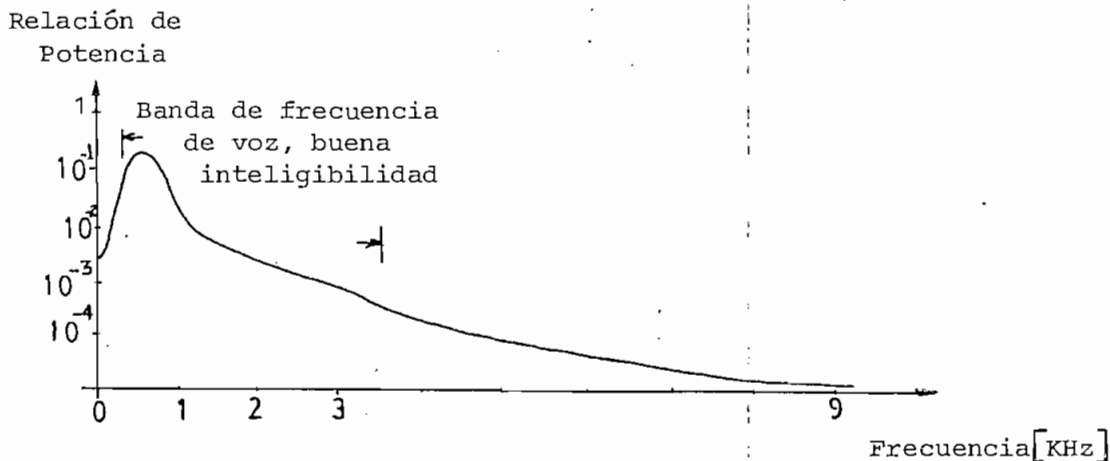


Figura 2.24 Espectro medio de habla

En la figura 2.24 se puede observar que las frecuencias de habla cubren un rango de entre 100 y 8.000 Hz y que la mayoría de la energía está concentrada entre 250 y 500 Hz.

El oído humano recibe la onda de sonido y como se puede -- ver en la figura 2.25 su mejor respuesta está en el rango de 1 a 3 - KHz.

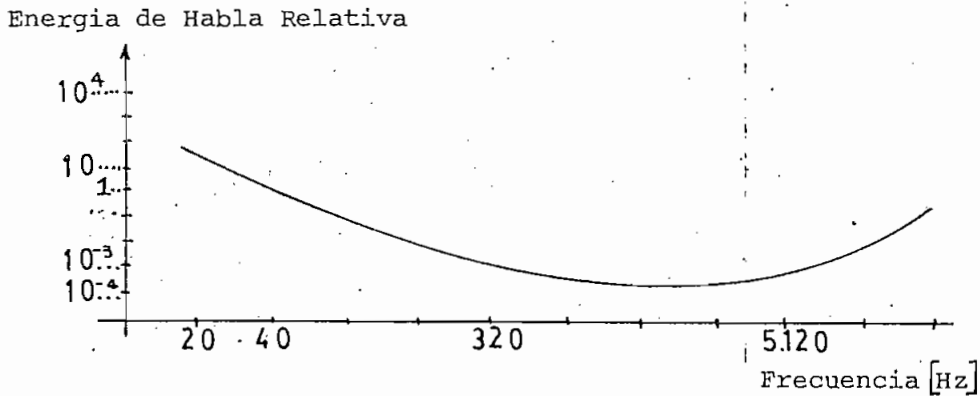


Figura 2.25 Sensibilidad auditiva media de un oído normal

Ahora bien la banda de frecuencia efectiva transmitida por un circuito telefónico está entre 100 y 5.000 Hz, como resultado de las dos características anteriores. Sin embargo, no es necesario - transmitir toda esta banda y transmitiendo entre 300 y 3.400 Hz, se ha llegado a obtener un resultado óptimo entre los factores económi- cos y la calidad de transmisión.

La ponderación sofométrica toma en cuenta que el oído hu- mano es menos sensible a las frecuencias muy bajas y a las frecuencias muy altas.

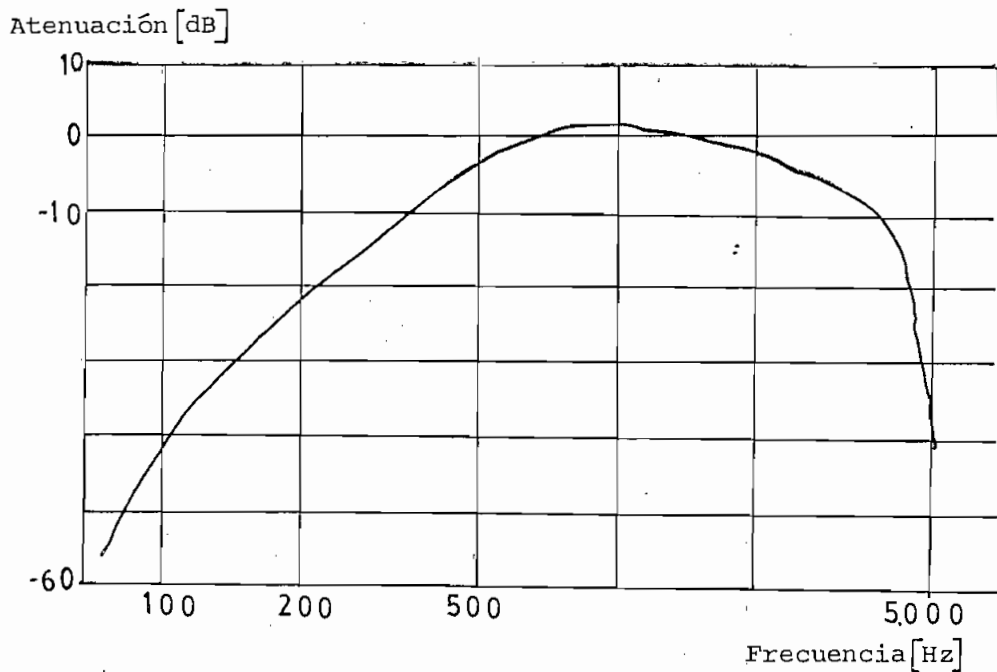


Figura 2.26 Curva de Ponderación Sofométrica

Un filtro con las características del de la figura 2.26 realiza la ponderación. Así el nivel de potencia sofométrica de una banda de 3.1 KHz está 2.5 dB bajo el nivel de potencia de un ruido al azar de espectro uniforme del mismo ancho de banda.

2.4.3 Características del Ruido Blanco

Los sistemas de transmisión FDM, por radio relevos, se ven degradados por dos tipos de ruidos.

- 1) Ruido térmico, introducido por los elementos y equipo en general.
- 2) Ruido de Intermodulación, que varía con la señal excitadora y es causada por no linealidades en el sistema.

El ruido total permitido está definido por las recomendaciones del CCIR. La recomendación del CCIR 395-1 dice al respecto que para un circuito real el ruido permitido es el siguiente:

para $50 \text{ Km} \leq L \leq 840 \text{ Km}$ el ruido permitido es $3L \text{ pw} + 200 \text{ pw}$

para $840 \text{ Km} \leq L \leq 1670 \text{ Km}$ el ruido permitido es $3L \text{ pw} + 400 \text{ pw}$ (2.7)

para $1670 \text{ Km} \leq L \leq 2500 \text{ Km}$ el ruido permitido es $3L \text{ pw} + 600 \text{ pw}$

Si una señal de ruido blanco, ocupando el ancho de banda de la señal de tráfico es aplicada en el sistema de radio relevos, con un nivel apropiado, se obtiene una simulación casi exacta de -- las condiciones para las cuales el mencionado sistema está completamente cargado.

Para más de 60 canales, la señal de información puede ser reemplazada con aproximación excelente por una señal de ruido blanco.

Si además un filtro detiene una banda muy estrecha y equivalente a un canal telefónico, se obtiene una condición equivalente a un sistema telefónico completamente cargado excepto en un canal.

Con un receptor sintonizado a la frecuencia del canal no cargado se puede medir el nivel de ruido producido por la intermodulación de los componentes de ruido blanco que ocupan el resto de la banda.

El método descrito equivale, por ejemplo en un sistema de 600 canales a escuchar en un canal libre, el ruido producido por 599 conversaciones simultáneas.

La recomendación 399-2 del CCIR estandariza los valores de los diferentes filtros que simulan los canales a ser medidos. De la Tabla II de dicha recomendación hemos extraído los valores para 300, 600 y 960 canales.

Tabla 2.10

Capacidad del Sistema (Canales)	Límite de banda (KHz)	Frecuencias efectivas de corte de los filtros limitadores de banda (KHz)		Frecuencia en los canales medidos
		PASA ALTO	PASA BAJO	
300	60-1300 64-1296	60 ± 1	1296 ± 8	70-270-534-1248
600	60-2540 64-2660	60 ± 1	2600 ± 20	70-270-534-1248 2438
960	60-4028 64-4024	60 ± 1	4100 ± 30	70-270-534-1248 2438-3886

Conforme la tabla 2.10 la señal de espectro uniforme debe ser limitada en la banda de frecuencia de la banda base.

Para hacer posible la medida de ruido en la banda de frecuencia, unos pocos canales deben estar limpios, de ruido, lo cual se realiza con filtros muy estrechos. Los valores de los canales a ser medidos constan en la tabla 2.10 de la Recomendación 399-2.

El receptor de ruido al otro lado del enlace mide el ruido en esos canales. Esto requiere filtros muy precisos que sólo midan en el canal en prueba para que el valor de ruido medido no se distorba con la señal.

En una nota de la Recomendación 399-1 CCIR se dice que la precisión de la medida se asume en $\pm 2\text{dB}$.

Con el método antes descrito el ruido total es siempre medido como la suma de ruido térmico, ruido de intermodulación y hasta ruido de interferencia.

2.4.4 Nivel de Carga del Sistema

La simulación de la señal de tráfico mediante una señal de ruido blanco requiere del conocimiento del nivel medio de la señal de tráfico. Este cálculo requiere del conocimiento del nivel de potencia que genera una persona al hablar, su velocidad de dicción, las características del circuito, etc.

Mediante cálculos realizados, sobre los datos obtenidos -

con las conversaciones de muchas personas, se ha llegado a obtener que para cargar un sistema multicanal con ruido blanco el nivel de potencia está dado por las siguientes relaciones (recomendación -- CCITT - G223);

$$P_c = -15 + 10 \lg N \quad \text{Para } N > 240$$

$$P_c = 1 + 4 \lg N \quad \text{Para } 12 \leq N \leq 240 \quad (2.8)$$

P_c -- nivel de potencia medio absoluto en un punto de nivel relativo cero (dBm0)

N -- número de canales del sistema

La tabla 2.11 extrae los valores de Potencia Nominal de la señal de prueba de la Recomendación 398-3 del CCIR para 300, 600 y 960 canales.

Tabla 2.11

	PR	PC	PN
Número de canales telefónicos	Nivel Relativo en T' (dBr)	Nivel de la carga convencional (dBm0)	Potencia Nominal (dBm) de la señal de Prueba en la T'
300	-36	9.8	-26.2
600	-36 -33	12.8	-23.2 -20.2
960	-36 -33	14.8	-21.2 -18.2

En la tabla 2.11 se cumple la relación:

$$PN \text{ [dBm]} = PR \text{ [dBx]} + PC \text{ [dBmo]} \quad (2.9)$$

2.4.5 Medidas de ruido intrínseco y ruido de intermodulación

Con una señal de ruido blanco presente en la entrada del sistema de radio enlace a ser examinado, un número de canales es mantenido sin ruido por medio de filtros que corresponden al ancho de banda de un canal telefónico.

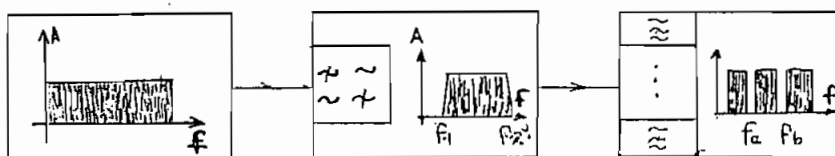


Figura 2.27 Generador de ruido blanco

El generador de ruido blanco, figura 2.27, da una banda de ruido que debe ser limitada en banda según la tabla 2.10; además tiene filtros para suprimir el ruido de los canales a ser medidos.

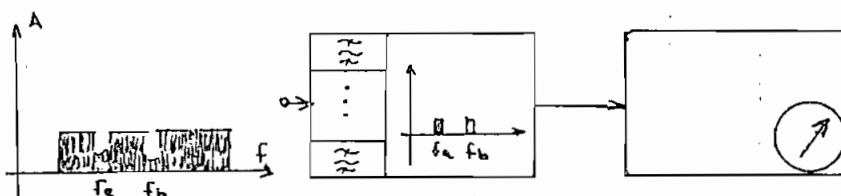


Figura 2.28 Receptor de ruido blanco

El receptor de ruido, figura 2.28, acepta la señal, que luego de salida del generador ha pasado por la sección de transmisión. En el receptor existen filtros que suprimen el ruido en toda la banda dejando como información sólo lo que contiene los canales que están siendo medidos.

Esta señal es una combinación de ruido térmico y ruido de intermodulación.

Las contribuciones de las diferentes clases de ruidos, pueden determinarse variando el nivel de carga del sistema, puesto que el ruido térmico es independiente del nivel de carga del sistema no así el ruido de intermodulación.

2.4.6 Valores de Ruido a medirse

Dos valores característicos de un sistema de radio relevo, cada uno medido con un método diferente, son obtenidos con la técnica de medición con ruido blanco. Estos valores dan una idea de la calidad de transmisión y son:

- 1) Relación de Potencia de Ruido.
- 2) Relación Señal a Ruido.

La Relación de Potencia de Ruido (NPR = Noise Power Ratio) es la medida más común realizada.

De acuerdo con las recomendaciones del CCIR, un nivel mayor que el nivel del tono de prueba para un canal, debe ser aplicado al sistema para el espectro de ruido total. Este nivel está dado por la capacidad del sistema. Ecuación 2.8.

El nivel dado por la ecuación 2.8 da el valor de la hora de mayor tráfico que es la suma estadística de los niveles en todos los canales telefónicos, el valor r.m.s. en el punto de trabajo.

Este nivel en la hora de mayor tráfico es definido como el nivel que excede el multiplex durante la mitad del tiempo.

Es la relación en dB del nivel de ruido P1, en el canal de prueba con la banda base totalmente cargada de ruido, al nivel N1 en el canal de prueba sin ruido en ese canal, ecuación 2.10.

$$NPR = 10 \lg \frac{P_1}{N_1} \quad (2.10)$$

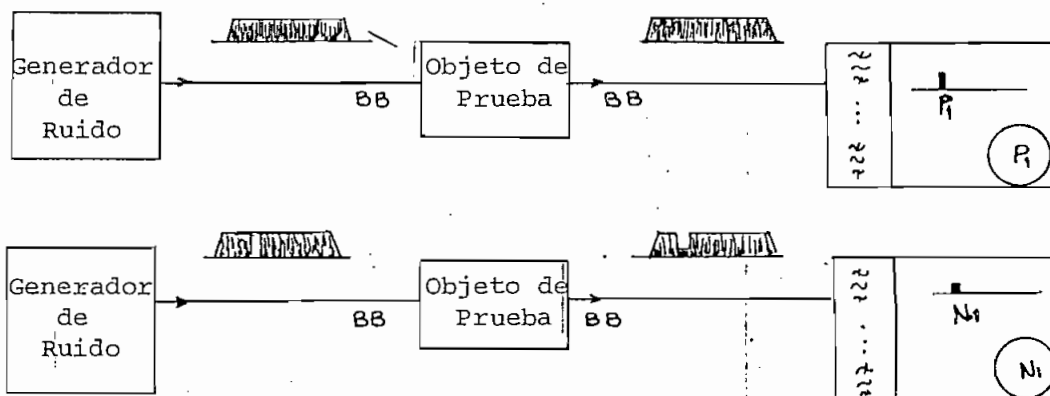


Figura 2.20 Relación de Potencia de Ruido

Para un medidor de ruido en dB y calibrado a la frecuencia del canal en prueba el valor NPR, se obtiene como la diferencia de la potencia de ruido de un canal medido, cuando el generador de ruido tiene desconectado el filtro del canal de prueba y la potencia de ruido medida cuando el generador lo tiene desconectado.

$$\text{NPR [dB]} = P1 \text{ [dB]} - N1 \text{ [dB]} \quad (2.11)$$

La relación señal a Ruido (S/N = Signal to Noise Ratio) es la medida que se obtiene como la diferencia entre el nivel de transmisión, medido en un canal seleccionado y el nivel de ruido en la posición medida.

Para obtener esta medida uno, o más, filtros o ventanas -- son conectados en el generador, la potencia de ruido residual es medida con un receptor calibrado en niveles de potencia absoluta y calibrado a la frecuencia de la ventana.

Si por ejemplo, un nivel de ruido sofométricamente ponderado de -80 dBmp se mide en un punto de -15 dBm, para un tono de prueba, entonces la relación Señal/Ruido (S/N) es 65 dB ó 65 dBmop (con referencia al nivel del canal).

$$\text{S/N [dB]} = \text{nivel del canal [dB]} - \text{nivel de ruido [dBmp]} \quad (2.12)$$

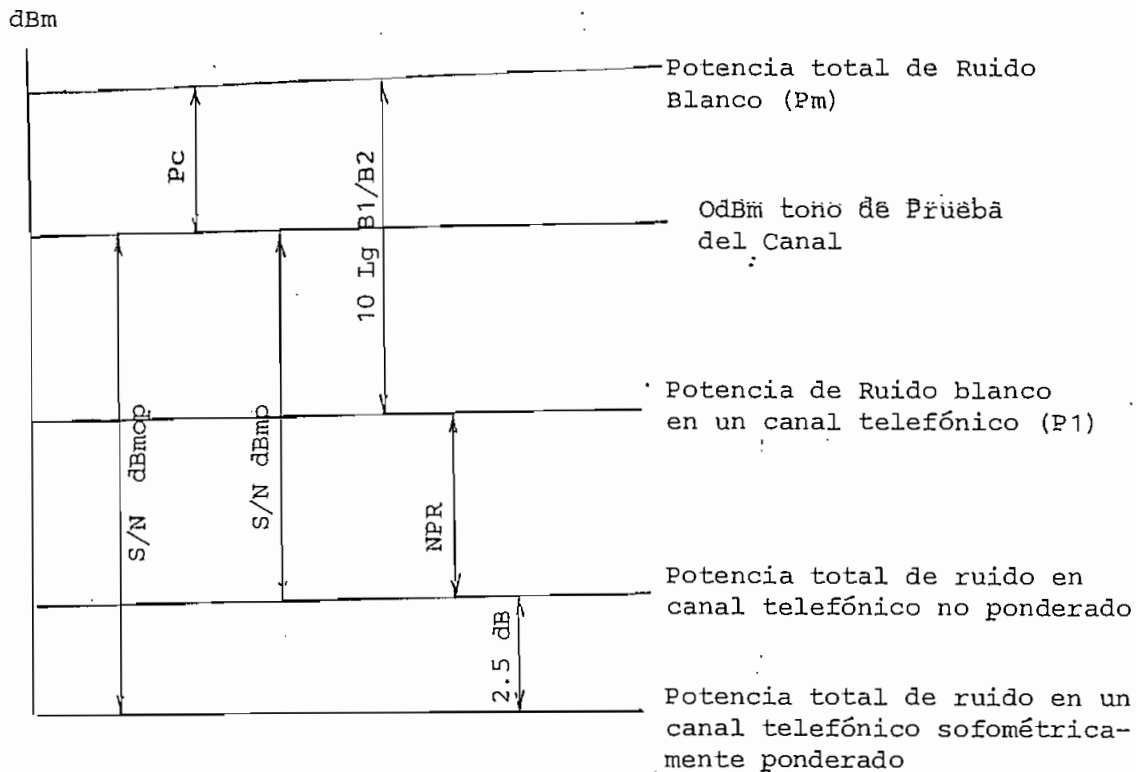


Figura 2.30 Diagrama de Niveles de los valores medidos

Durante la medida del NPR, el nivel de ruido de un canal debe ser menor que un tono de prueba de un canal.

El nivel, según la figura 2.30, está dado por:

$$P1 = Pm - 10 \lg \frac{B1}{B2}$$

Donde:

P1 -- ruido blanco medido en un canal telefónico

Pm -- potencia total de ruido blanco

B1 -- ancho de banda total de ruido blanco

B2 -- ancho de banda de un canal telefónico

De aquí, la correspondencia entre el valor medido de la Relación de Potencia de Ruido y el nivel de Señal a Ruido en un canal telefónico es:

$$S/N = (NPR + A) \text{ [dB] no ponderado sofométricamente}$$

$$S/N = (NPR + B) \text{ [dB] sofométricamente ponderado} \quad (2.14)$$

Los valores de A y B vienen dados en la tabla 2.12, que relacionan Relación de Potencia de Ruido (NPR) con Relación Señal Ruido (S/N).

Tabla 2.12

Número de Canales	A dB	B dB
12	9.1	11.6
24	10.4	12.9
60	12.8	15.3
120	14.7	17.2
300	16.2	18.7
600	16.3	18.8
960	16.3	18.8

De la figura 2.30 se deduce que:

$$A = 10 \lg \frac{B1}{B2} - P_c$$

$$B = 10 \lg \frac{B1}{B2} - P_c + 2.5 \text{ [dB]}$$

(2.15)

2.4.7 Valores de Ruido medidos en el tramo Quito-Atacazo-Quito

En las tablas 2.13, 2.14, 2.15 y 2.16 constan las mediciones de NPR (relación de potencia de ruido), realizadas en el tramo Quito-Atacazo-Quito.

Las características que se deben tomar en cuenta para la medición de ruido son las siguientes:

Número de canales: 960

Nivel de señal que produce una desviación de 200 KHz r.m.s: -45 dBm

Carga de ruido: $-15 + 10 \lg N = 14.8$ [dBmo]

Potencia de ruido en el punto de prueba: -45 [dBm] + 14.8 [dBmo] =
 -30.2 [dBm]

Ancho de Banda 60 - 4100 [KHz]

En base de las tablas 2.13 a 2.16 se han realizado las correspondientes figuras 2.31 a 2.33 que son las curvas que corrientemente se realizan, en base a las mediciones, para visualizar e interpretar los resultados obtenidos. Los ejes de coordenadas de las figuras son Relación de Potencia de Ruido NPR y su correspondiente variación, a determinadas frecuencias, debido a la variación del Nivel de Potencia de ruido del generador.

Tabla 2.14

Carga de Ruido	70 KHz			1248 KHz			3886 KHz		
	Con Filtro	Sin Filtro	NPR	Con Filtro	Sin Filtro	NPR	Con Filtro	Sin Filtro	NPR
-12	78.5	31	47.5	74.5	31.5	43	75	31.5	43.5
- 8	78	27	51	74.5	27.5	47	75	27.5	47.5
- 4	78	23	55	74	23.5	50.5	74.5	23.5	51
0	76.5	19	57.5	73.5	19.5	54	73.5	19.5	54
+ 4	71.5	15	56.5	70.6	15.4	55.2	67.5	15.5	52
+ 8	65	11	54	64.5	11.5	53	58.5	11.5	47
+12	50	7	43	47.5	7.5	40	45	7.5	38.5
dB	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dB

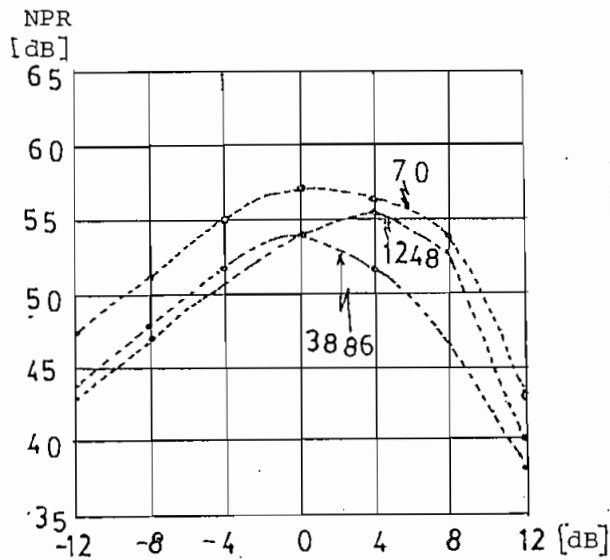


Figura 2.32 Curva NPR del Sistema 2 del tramo Quito-Atacazo.

Tabla 2.15

Carga de Ruido	70 KHz			1248 KHz			3886 KHz		
	Con Filtro	Sin Filtro	NPR	Con Filtro	Sin Filtro	NPR	Con Filtro	Sin Filtro	NPR
-12	76	30	46	72.5	30.5	42	73.5	30.5	43
- 8	76	26	50	72.5	26.5	46	73.5	26.5	47
- 4	75.5	22	53.5	72	22.5	49.5	73	22.5	50.5
0	73.5	18	55.5	71.5	18.5	53	72	18.5	53.5
+ 4	69.5	14	55.5	70	14.5	54.5	68	14.5	53.5
+ 8	64	10.5	53.5	65	10.5	54.5	59.5	10.5	49
+12	52.5	6	46.5	48.5	6.5	42	45.0	7.0	38
dB	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dB

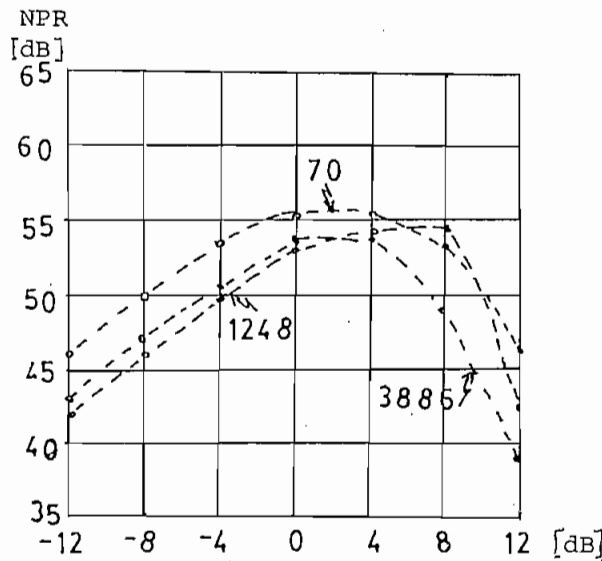


Figura 2.33 Curva NPR del Sistema 1 del tramo Atacazo-Quito.

Tabla 2.16

Carga de Ruido	70 KHz			1248 KHz			3886 KHz		
	Con Filtro	Sin Filtro	NPR	Con Filtro	Sin Filtro	NPR	Con Filtro	Sin Filtro	NPR
-12	76	30	46	72.5	30.5	42	73.5	30.5	43
- 8	76	26	50	72.5	26.5	46	73.5	26.5	47
- 4	75.5	22	53.5	72	22.5	49.5	73	22.5	50.5
0	73.5	18	55.5	71.5	18.5	53	72	18.5	53.5
+ 4	69.5	14	55.5	76	14.5	54.5	68	14.5	53.5
+ 8	64	10.5	53.5	65	10.5	54.5	59.5	10.5	49
+12	52.5	6	46.5	48.5	6.5	42	45	7.0	38
dB	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dB

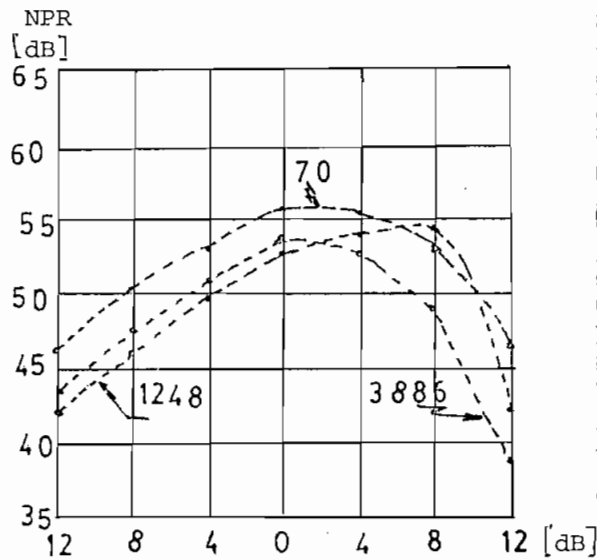


Figura 2.34 Curva NPR del Sistema 2 del tramo Atacazo-Quito.

La tabla 2.17 es una medida realizada en las ventanas o canales de prueba, sin generador de ruido. Como el sistema bajo medida está sin tráfico el ruido medido será el ruido térmico del sistema.

Tabla 2.17

Q U I T O - A T A C A Z O						
SISTEMA 1			SISTEMA 2			
70	1248	3886	70	1248	3886	KHz
-59	-54	-55.5	-59.5	-55	-55	dBm
A T A C A Z O - Q U I T O						
SISTEMA 1			SISTEMA 2			
70	1248	3886	70	1248	3886	KHz
-57.5	-52	-55.5	-58.5	-54	-55	dBm

Los valores NPR medidos, que constan en las tablas 2.13 a 2.16 expresan la suma total de ruido térmico y de intermodulación.

Las figuras 2.31 a 2.33 expresan el deterioro de la señal respecto al valor cero (0) de nivel de señal de entrada. Cuando el nivel de entrada disminuye el ruido térmico aumenta y cuando el nivel de entrada aumenta el ruido de intermodulación aumenta con el correspondiente deterioro de la señal.

CAPITULO III

ANALISIS COMPARATIVO DE LAS MEDICIONES Y CONCLUSIONES

3.1 Generalidades

Las medidas realizadas sobre sistemas de radio de microondas, que transmiten información telefónica, de un multiplex por división de frecuencia, pueden dividirse en dos categorías principales: aquellas que tienen que ver con los parámetros de operación del equipo, (niveles, desviación, etc), y aquellas que determinan la amplitud y fuentes de ruido.

Las medidas se realizan dividiendo al equipo en tres secciones sólo para visualizar mejor la sección del radio donde el parámetro es medido.

3.2 Sección de Radio Frecuencia

En la sección de radio frecuencia se han realizado mediciones de Potencia y Frecuencia.

Las mediciones de Potencia, en la sección de Radio Frecuencia, del transmisor, están dentro de las especificaciones para un correcto funcionamiento del enlace (25 ± 0.5 dBm) tabla 2.3 página 28.

Como el valor de esta medida está dado solamente por la etapa de salida del radio transmisor es una excelente referencia para conocer su comportamiento.

Las mediciones de Potencia, en la sección de Radio Frecuencia del receptor, potencia recibida, están dentro de las especificaciones para un correcto funcionamiento del enlace (-33 dBm) tabla 2.5 página 33. Este nivel no es fijo y puede variar con las condiciones troposféricas del tramo por donde atraviesa la señal.

La mayoría de los radios receptores de microondas están equipados con circuitos que indican alarma cuando el nivel de potencia de la señal recibida a caído hasta un nivel predeterminado.

Las mediciones de frecuencia, en la sección de radio frecuencia, están dentro de las especificaciones dadas por el plan de frecuencias adoptado cuando se planificó el tramo, las frecuencias de los osciladores locales están dentro de las especificaciones ($f_{Lo} \pm 2 \times 10^{-3}$ MHz) tabla 2.6 página 40.

3.3 Sección de Frecuencia Intermedia

Las medidas en la sección de Frecuencia Intermedia se realizan generalmente con el radio en prueba desconectado del multiplex, es decir sin tráfico.

La medición de nivel de salida del modulador están dentro de la especificación y recomendación 403-2 CCIR (5.2 ± 0.5 dBm) tabla 2.7 página 43.

La medición de Frecuencia Central que es la principal medida a tomarse está dentro de las especificaciones (70 ± 1 MHz) y cumple con la recomendación 403-2, CCIR para el valor de frecuencia intermedia (70 MHz), tabla 2.8 página 44, para radios de hasta 1800 canales.

La medición de Retraso de Grupo debe tener una característica como la de la figura 3.1 para un rango de frecuencia (70 ± 8 MHz), el retraso de grupo deberá ser menor de cuatro nanosegundos ($\tau_g < 4$ n seg).

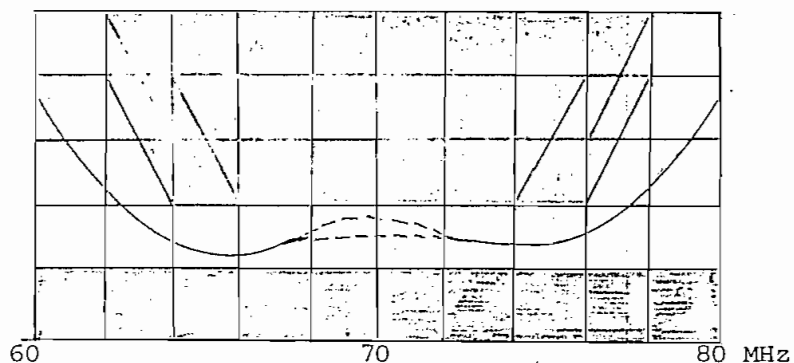


Figura 3.1 Característica de Retraso de Grupo IF-IF según las especificaciones del fabricante.

Comparando esta curva con los valores obtenidos en las figuras 2.18 y 2.19 página 54, se ve que el retraso de grupo está dentro de las especificaciones. Una característica que penetre la región sombreada de la figura 3.1 indicará un retraso de grupo anormal que impondrá un ajuste en el ecualizador de fase del receptor.

3.4 Sección de Banda Base

La sección de Banda Base, a menudo asociada a una estación terminal de radio sirve como interfase entre el equipo multiplex y el radio transmisor y receptor.

Esta sección, acepta la señal de Banda Base proveniente -- del multiplex (para transmisión) o del demodulador del receptor (en recepción) y provee un nivel adecuado a la señal, un acoplamiento de impedancias, preénfasis y deénfasis, para mejorar la relación señal a ruido en las frecuencias de la banda base también monitorea el piloto de continuidad y la contribución de ruido.

Debido a la importancia de estas funciones, el comportamiento del equipo debe ser satisfactorio todo el tiempo.

La respuesta amplitud-frecuencia en la sección de banda base debe ser lineal ($20 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$) tabla 2.9 página 58, para cumplir con las especificaciones.

Luego de medidos los anteriores parámetros y ajustados a sus niveles nominales se realiza la medición de la relación de potencia de ruido, o en su defecto la medición de la relación señal a ruido del tramo que nos dará la respuesta final sobre el comportamiento y funcionamiento del tramo y pueden indicar las posibles fuentes de ruido.

El ruido medido, alimentando al sistema de radio con una señal de ruido blanco, que puede considerarse como equivalente a la señal de Banda Base, es la suma de todo el ruido en el sistema:

- 1) Ruido térmico recibido
- 2) Ruido térmico básico del equipo
- 3) Ruido de Intermodulación.

La figura 3.2 muestra las curvas NPR para un tramo simple de 960 canales de buena calidad medidos en las ventanas de 70, 1248 y 3886 KHz como función de la carga de ruido.

0 dB en la figura 3.2 corresponde a la carga nominal es decir -15 dBm por canal y es el nivel de entrada óptimo donde la relación de potencia de ruido es la mejor.

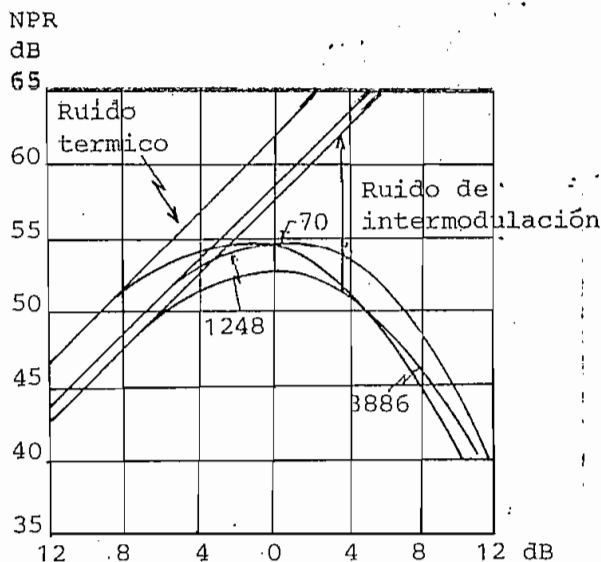


Figura 3.2 Relación de potencia de ruido de un sistema de 960 canales.

La región donde disminuye el nivel de potencia, en la figura 3.2, corresponde a una región donde el ruido térmico es predominante.

La línea recta corresponde al ruido térmico del receptor y al ruido térmico básico.

La diferencia entre la línea de 70 KHz y las otras dos es causada por la distribución del ruido en un sistema FM a estas frecuencias.

Según el fabricante, el Ruido Térmico Básico para el sistema de radio ZRL 7500-3 de 960 canales es el siguiente:

para 70 KHz < 20 pwop

para 1248 KHz < 55 pwop

para 3886 KHz < 55 pwop

Cuando la carga excede 5 dB relativos del nominal se puede notar que el ruido de intermodulación se hace más notable en el medio de la banda base (1248 KHz) que en la parte menor (70 KHz) y mayor (3886 KHz).

Conforme el nivel de carga aumenta el ruido de intermodulación aumenta, esto también se puede notar en las especificaciones del fabricante para el ruido de intermodulación del equipo que es el siguiente:

para 70 KHz < 20 pwop

para 1248 KHz < 20 pwop

para 3886 KHz < 45 pwop

Niveles altos de ruido térmico pueden producirse por una contribución excesiva, debido a una señal de RF recibida muy baja, o a una desviación impropia o contribuciones de ruido intrínseco -- desde un radio ruidoso con componentes viejos.

Niveles exageradamente altos de ruido de intermodulación pueden deberse a una linealidad de Banda Base pobre o por distorsión de retraso de grupo.

Si a la entrada del enlace el nivel de ruido es variado en el generador de ruido y esta alteración es compensada en la salida del enlace, en el medidor de ruido, el ruido total, relativo a un punto de nivel cero, en las ventanas medidas generalmente se incrementará para un decremento de nivel del ruido y para un incremento de ese nivel.

Si el nivel de ruido en el medidor aumenta con una disminución en el nivel de ruido en el generador, la contribución de ruido térmico es dominante. En el otro caso el ruido total consiste principalmente de ruido de intermodulación.

El ruido de intermodulación también puede ser calculado, midiendo primero, con ventana, el ruido total con la carga convencional normal ($-15 + 10 \lg N$ para $N > 240$) y haciendo una segunda medida sólo con el medidor (sin introducir ruido en el sistema con el generador) tabla 2.17 página 78. El ruido de intermodulación es la diferencia entre los dos valores.

B I B L I O G R A F I A

HORE, KANTI., Apuntes de la Materia Sistemas de Microondas V Curso
Electrónica, 1974.

FINK, DONALD E., Electronics Engineers' Handbook, Secc. 22-59, 22-
60, 22-61. McGraw-Hill, 1975.

FREEMAN, ROGER L., Telecommunication Transmission Handbook, John -
Wiley & Sons, 1975.

L.M. ERICSSON., ZRL - 7500-3 System Manual.

KENNEDY, GEORGE., Electronic Communication Systems, McGraw-Hill,
1970.

BELL TELEPHONE LABORATORIES., Transmission Systems for Communications,
1971.

I.T.T., Reference Data for Radio Engineers, Fifth Edition, 1973.

WANDEL U. GOLTERMAM., Measuring Methods for Telecommunications, 1977.

HEWLETT PACKARD., The Microwave Link.

C.C.I.R., Radio Relay Systems, Chapter B.IV, 1969

C.C.I.R., XIIIth Plenary Assembly, Volume IX, Geneva, 1974.

SIEMENS., Planning and Engineering of Radio Relay Links, 7th Edition
May, 1968.

SCHWARTZ, MISCHA., Information Transmission, Modulation, and Noise,
International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.

LATHI B.P., Communication Systems, John Wiley & Sons, Inc, 1968.