SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA EL SERVICIO DE VOZ Y DATOS DEL POLIDUCTO MONTEVERDE-PASCUALES

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

HERNAN ROLANDO ECHEVERRIA BALLADARES

Quito, diciembre de 1986

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
BIBLIOTECA
2937
E.P.N.

Certifico que el presente trabajo de tesis, ha sido realizado en su totalidad por el señor Rolando Echeverría Balladares.

ING. HUGO CARRION ROBALINO

Quito, diciembre de 1986

AGRADECIMIENTO

Deseo resaltar mi profundo agradecimiento de gratitud para mi Director de Tesis, Ing. Hugo Carrión Robalino quien con desinteresado esfuerzo y trabajo ha sabido guiar y dirigirme exitosamente, no sólo en el aspecto de investigación y conocimientos para la elaboración del presente trabajo de Tesis de Grado, sino lo que es más, en el aspecto profesional y humano de mi persona.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION PAGINA

CAPITULO PRIMERO

CONFIGURACION DEL SISTEMA PARA EL SERVICIO DE VOZ Y DATOS

1.1. EL SISTEMA "SCADA" PARA EL CONTROL AUTOMATICO DE INFORMACION Y ORDENES DEL POLIDUCTO 1.

1.1.1. Introducción 1
1.1.2. Sistema de Control 1
1.1.3. El Sistema SCADA 2
1.1.4. Comunicaciones de Voz 5
1.1.5. Información de Gerencia 6

1.2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA TELEFONICO Y DATOS PARA EL SERVICIO DE TERMINALES 7

1.2.1. Introducción 7
1.2.2. Estructura del Sistema Telefónico 9
1.2.3. Estructura del Sistema de Datos 13

1.3. SERVICIOS ESPECIALES DE TELEFONIA: HOT LINE y S + Dx 22

1.3.1. S + Dx 22
1.3.2. Hot Line (línea caliente) 23

1.4. ANALISIS DE LAS CAPACIDADES DE LOS DIFERENTES SISTEMAS 25

CAPITULO SEGUNDO

DISEÑO DEL RADIO ENLACE EN LA BANDA DE UHF

2.1. COMPOSICION GENERAL DEL RADIO ENLACE 29

2.2. PROPAGACION EN LA BANDA DE FRECUENCIA ELEGIDA 34

2.3. PLANIFICACION DE LA RUTA, ELECCION DE SITIOS PARA REPETIDORAS 38

2.4. FACTOR DE ABULTAMIENTO "K" DE LA TIERRA, ELABORACION DE PERFILES 42

2.5. ZONAS DE FRESNEL, CALCULO PARA GRAFICO SOBRE PERFILES 46

2.6. ALTURA DE TORRES (CLEARANCE) PARA INSTALACION DE ANTENAS 50

2.6.1 Cálculo de la Clearance para los diferentes tramos 50

2.6.2 Cálculo de atenuación adicional Az por obstáculos en dB 53

2.6.3 Pérdidas en cables coaxiales Ac en dB 56

2.6.4 Pérdidas en filtros separadores (Filtroduplexer) Af en dB 57

2.6.5 Pérdidas por espacio libre Ao en dB 57

2.6.6 Atenuación neta del trayecto at en dB 58

2.7. CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE RADIO ENLACE 59

2.8. CALCULO DEL VALOR DEL MARGEN DE DESVANECIMIENTO (FADE MARGIN F) 62

2.8.1 Umbral del Receptor Urx en dBm 63

2.9. **ESTIMACION DE LA POTENCIA DE LOS TRANSMISORES Y CALCULO DE GANANCIA DE ANTENAS** 64

2.9.1. Cálculo de la atenuación del trayecto At en dB 66

2.10 **CALCULO DE NIVELES DE RECEPCION Nrx, y RELACION SEÑAL A RUIDO Sv** 67

2.10.1. Cálculo de la Relación Señal a Ruido S/R en dBm 68

2.10.2. Potencia de Ruido térmico a la entrada del receptor Prx en pW 69

2.11. **CALCULO DE LA POTENCIA DE RUIDO TOTAL DEL RADIOENLACE PARA DIFERENTES PERIODOS DE DESVANECIMIENTO INDICADOS POR EL C.C.I.R.** 72

2.11.1. Primera Recomendación (Hora peor) 73

2.11.2. Segunda Recomendación (20% del tiempo del peor mes) 74

2.11.3. Tercera Recomendación (0.0112/n% durante un minuto del peor mes) 75

2.11.4. Memoria de Cálculo del Radioenlace UHF (24 canales) Monteverde-Pacuales 77

2.11.5. Diagrama de niveles para el Radioenlace UHF 78

CAPITULO TERCERO

PRUEBAS DE PROPAGACION

3.1. **CONSIDERACIONES GENERALES Y OBJETO DE LAS PRUEBAS** 80

3.2. **CARACTERISTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO** 81

3.3. **RESULTADOS DE LAS MEDIDAS EFECTUADAS** 82

3.4. COMPARACION ENTRE VALORES MEDIDOS Y CALCULADOS 83

3.5. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS 84

CAPITULO CUARTO

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPAMIENTO

4.1. EQUIPO DE RADIO 88

4.2. TORRES 92

4.3. CABLES COAXIALES 96

4.4. SISTEMA DE ANTENAS 97

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES 100

APENDICE 121

ANEXO 124

TABLAS 135

BIBLIOGRAFIA 139

INTRODUCCION

El presente tema de tesis "SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA EL SERVICIO DE VOZ Y DATOS DEL POLIDUCTO MONTEVERDE-PASCUALES, aprovecha la oportunidad de ser realizado en base a un Proyecto de diseño hecho en nuestro país Ecuador, para servicio de la Corporación Estatal Petrolera (CEPE).

El trabajo de Tesis, en su primer capítulo trata de enfocar globalmente el objetivo del sistema de telecomunicaciones a ser diseñado. El mismo básicamente, está encaminado a facilitar la transferencia y procesamiento de información (voz y datos), para el perfecto control y funcionamiento del Poliducto Monteverde-Pascuales.

El medio por el cual se vale para la transmisión de la información desde una estación a la otra, está basada en un sistema de Radioenlace Analógico FDM/FM, en la banda de UHF, con capacidad para 24 canales telefónicos, asunto que se lo trata ampliamente en el capítulo 2 del presente trabajo.

El diseño del sistema de Radioenlace, se lo ha llevado a cabo, con un fuerte soporte de cálculos, los mismos que se encuentran enmarcados dentro de procedimientos establecidos por libros especializados en el tema, tales como la LENKURT, SIEMENS, C.T.N.E. (Centro de Telecomunicación Nacional de España), y lo que es más por ciertas recomendaciones de organismos internacionales que rigen y norman las comunicaciones a nivel mundial como son el CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía) y el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radio). Además de algunos libros y folletos preparados por otros autores.

El método de diseño y cálculo, expone criterios teóricos, que faciliten el diseño de otros sistemas de radioenlace de baja capacidad (hasta 60 canales telefónicos) brindando cierta flexibilidad y facilidades al estudiante o persona que tenga en bien leer el contenido de este trabajo.

Por la importancia que reviste el Proyecto y por la seguridad que se quiere dar al sistema de comunicaciones, se ha brindado las facilidades para realizar las denominadas "Pruebas de Propagación", las mismas que se encargan de verificar, antes de instalar los equipos y torres en forma permanente, de ver si el medio de comunicación escogido (El radioenlace), es adecuado o no para ser implementado y posea un perfecto funcionamiento futuro.

Los resultados de dichas pruebas, contenidas en el capítulo 3, garantiza de una manera feaciente, que el sistema de radioenlaca diseñado funcionará acorde a todos los requerimientos establecidos, de una manera confiable, segura y con alto rendimiento.

En la parte de comentarios y conclusiones del presente trabajo, adjunto un método de cálculo a manera de "receta", para diseñar sistemas de radioenlace analógicos en la banda de UHF, el mismo resume de alguna manera la mayor parte de lo expuesto en el presente trabajo de Tesis.

1.1. EL SISTEMA "SCADA" PARA EL CONTROL AUTOMATICO DE INFORMACION Y ORDENES DEL POLIDUCTO.

1.1.1. Introducción.

El poliducto Monteverde - Pascuales será utilizado para abastecer la demanda de gasolina, kerosene y diesel de la ciudad de Guayaquil y sus áreas de influencia.

El proyecto comprende, las instalaciones en Monteverde de un terminal marítimo para la descarga de buques, un terminal de almacenamiento para recibir los productos de los buques y del Poliducto - Libertad Monteverde, así como los equipos de bombeo y medición para enviar los productos de los tanques hacia Pascuales y Manta.

La operación del Poliducto será controlada y supervisada desde la sala de control principal ubicada, en la estación Monteverde, - donde el operador despachará de acuerdo a un programa previamente - establecido. El sistema de control permitirá al operador efectuar operaciones de rutina del Poliducto, así como también efectuar ciertas operaciones de emergencia.

1.1.2. Sistema de Control.

Con el propósito de mantener un adecuado procesamiento y transferencia de información de datos y órdenes entre la estación central ubicada en Monteverde y el resto de estaciones Terminales, de los Poliductos: Libertad-Monteverde-Manta y Monteverde-Pascuales se ha planificado adquirir e instalar un sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA) (Supervisión Control and Data Acquisition).

El medio de comunicación del cual se servirá el sistema SCADA, para llevar la información digital de datos, entre la estación Master ubicada en Monteverde y los terminales secundarios de datos, ubicados en las diferentes estaciones terminales del Poliducto, será

un sistema de radioenlace punto a punto, trabajando en el rango de frecuencia de Ultra alta frecuencia UHF (Ultra High Frecuency).

El mencionado sistema de comunicación UHF, será de tipo analógico y empleará la técnica de Multiplexaje por División en Frecuencia (FDM), con una capacidad de 24 canales telefónicos, cada uno con un ancho de banda de 4 KHz y una banda efectiva de 3.1. KHz.

La estación Master del SCADA, para enlazarse con cada uno de los terminales secundarios de datos, empleará 2 canales telefónicos, uno activo y otro de reserva. Los canales telefónicos, del total de 24, que no utilice el SCADA, servirán de respaldo durante períodos de falla del mismo sistema, brindando la facilidad de comunicarse por voz entre la estación Master y los diferentes terminales del Poliducto.

Con el fin de mantener una transferencia directa de información desde el Master del SCADA con los principales centros administrativos de CEPE, serán instaladas Tres Unidades de Información de Gerencia (Magnagement Information Units), dos en oficinas de Gerencia de Quito y una en la oficina de Subgerencia Regional en Guayaquil. Dichas comunicaciones se realizarán a través de los servicios de la red pública del IETEL.

1.1.3. El Sistema SCADA.

El propósito del Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), es brindar un procesamiento ordenado de toda la información proveniente de todas las estaciones que conforman el Poliducto, de manera de minimizar la confusión en el tráfico de dicha información.

Con el adecuado procesamiento de la información, el personal de control de la estación central del SCADA, ubicada en Monteverde, estará en condiciones de ejercer un completo control de todas las decisiones y acciones que se realicen en el normal desembolvimiento de todo el Poliducto, estableciéndose sobre el mismo, un completo

control de funcionamiento y mantenimiento.

El control central del SCADA (El Master), ubicado en la sala de control de la estación Monteverde, consta de un computador activo y uno de respaldo. Los terminales secundarios de datos ubicados en las diferentes estaciones terminales del Poliducto, serán terminales de computador provistos de pantalla y teclado.

Los terminales de computación, constarán con su respectiva Unidad Terminal Remota (RTU), la misma que sirve de interfase entre el sistema de comunicaciones y el sistema de control local de datos. Además de los RTU's y con el fin de brindar cierta autonomía, permitiendo el control y operación local en cualquier estación terminal del Poliducto, incluyendo la estación central, durante situaciones, en que el sistema SCADA, o el medio de comunicación falle, se ha previsto la instalación de Controladores de Lógica Programable (PLC's).

Los PLC, de esta manera, asumirán el control local de determinada estación, brindando toda la secuencia y lógica de control, alarmas, adquisición de datos y funciones de enlace con el operador de campo.

Las comunicaciones entre la estación Master y los terminales secundarios de datos (RTU's y PLC's), serán provistas a través de un sistema de radio UHF, utilizando 2 canales telefónicos, uno activo y otro de reserva, incluyendo para ello de MODEM's requeridos e instalados en los gabinetes de los RTU's, PLC's y la computadora central del Master. La velocidad de transmisión de la información digital será de 1.200 bits/s, desde el ordenador.

El enlace de comunicación hombre-máquina, se lo realizará mediante pantalla de tubo de rayos catódicos CRT, con teclado y mediante impresoras de alta velocidad, con el fin de precisar una clara y rápida recepción y transmisión de órdenes y datos, especialmente en lo que se refiere al registro del estado de alarmas.

Para la operación del sistema redundante en el Master del SCADA, la computadora de reserva, se mantendrá con datos de campo totalmente actualizados, contando para ello con un enlace de datos de alta velocidad entre las dos computadoras. En caso de falla en este enlace de datos, la central de reserva supervisará la línea de comunicación para ver si la central activa está todavía recibiendo los datos de los remotos, en caso de detectarse dicha falla la computadora de reserva asumirá el control del sistema, e iniciará una recepción de datos de todos los remotos o terminales.

La adquisición de datos para el sistema, será a través del control supervisorio de los RTU's y PLC's con enlace directo con la instrumentación de campo. La instrumentación de campo incluye, pulsos por circulación de flujos, entradas de contactos de estados de alarma, entradas análogas como presión y temperatura, así como también estados de válvulas accionadas por motor y pulsos de medición de volúmen.

La estación Master y las estaciones secundarias están interconectadas, a través de un canal supervisorio en una configuración "punto a punto". El diálogo entre la estación Master y los secundarios toma lugar por medio de mensajes standard (Protocolo de comunicación). Los secundarios son interrogados secuencialmente por la estación Master, la cual lee los mensajes contestados, almacena la corriente de status y expone los estados de alarmas.

El canal supervisorio consiste de un número de líneas de comunicación de punto a punto semiduplex y procesadores frente fin, para la estación Master y secundaria respectivamente. Estos procesadores (Front End Processors FEP), o lo que es lo mismo, los RTU's, almacenan y preparan adecuadamente la información en tráfico, generalmente constan de cuatro pórticos seriales, los mensajes son puestos en columna en la forma primero en entrar, primero en salir (FIFO) y rotados al pórtico correcto, acorde a la dirección encontrada en el mensaje que va en la cabecera, con esta técnica es posible evitar que se produzca colisión de datos.

El operador en el Master emite órdenes de control a los diferentes secundarios, usando para ello un set de comandos con el sistema de comunicación hombre-máquina, en la estación Master.

Un control remoto de operación, es iniciado por un comando del operador en el terminal de la estación Master, el mensaje es preparado y transmitido a la estación secundaria, esta última recibe el mensaje y lo confirma. Si el mensaje del control remoto es aceptado, la orden será ejecutada y un mensaje de reconocimiento será transmitido a la estación Master. Si la orden del control remoto es inaceptada, un mensaje negativo de reconocimiento será transmitido a la estación Master.

Toda pregunta, mensajes de datos y comandos de control, son protegidos con códigos detectores de errores y por códigos de seguridad. Todos los datos recibidos desde las unidades remotas, serán chequeados para verificar que estén libres de errores de comunicaciones y que sean válidos antes de ser procesados. Cuando un dato es detectado como no válido, será registrado como dato no actualizado.

Los tiempos de barrido de actualización de datos serán de cinco segundos. Además de acuerdo a las circunstancias de demanda de información, se podrá limitar el tráfico innecesario de datos ya que inclusive las unidades remotas están diseñadas con circuitos que indiquen cuando se han producido cambios de estado en la información de una determinada estación secundaria.

1.1.4. Comunicaciones de Voz.

El sistema de comunicación de voz, está basado en el diseño de un sistema de radio en la banda de UHF (Ultra High Frecuency), utilizando la técnica de Múltiplex, por División en Frecuencia (FDM) y con Modulación en Frecuencia (FM).

Este sistema,brindará las comunicaciones entre la central SCA-

DA (El Master) ubicado en Monteverde y las unidades remotas como el Terminal de Pascuales. Para ello se contará con dos canales telefónicos, el uno activo y el otro de reserva, en caso de pérdida o degradación de la señal del primero. Las unidades remotas en Monteverde se conectarán por medio de líneas físicas con el Master del SCADA.

Además de los canales para transmisión de datos del sistema SCADA, se ha considerado la provisión de algunos canales telefónicos adicionales, para comunicación entre Monteverde y Pascuales, con el objeto de tener el soporte suficiente para el caso de falla del sistema de control automático del SCADA y así operar el poliducto eficientemente bajo control local de voz.

Utilizando el mismo medio de enlace, se ha pensado instalar un canal telefónico para telex entre el centro de control en Monteverde y el edificio de control del Terminal de Libertad, con el objeto de facilitar la transmisión de datos en instrucciones por escrito.

1.1.5. Información de Gerencia.

Las tres unidades de Información de Gerencia, una en Guayaquil, y dos en Quito, contarán con el equipo y programación necesaria para habilitar la transferencia de información entre el Master del SCADA y estas tres unidades.

Cada unidad incluye: una impresora, videos con teclados (teleimpresores), las unidades estarán basadas en microprocesadores y deberán incluir accionadores de discos flexibles para almacenamiento de datos y MODEM's para comunicación por medio de línea telefónica. Las mismas contarán con facilidades para pedir, recibir, desplegar e imprimir los datos que provienen de la estación Master del SCADA.

El procesador de cada unidad, contará con suficiente memoria para almacenar toda la información estadística del Poliducto. El procesador programable podrá habilitar las comunicaciones entre las

unidades y la estación Master del SCADA, usando líneas telefónicas. La programación podrá habilitar la transferencia de archivos del procesador central a discos flexibles y se incluirá la programación para calcular promedio de datos y hacer comparaciones entre ellos.

Los datos a ser transferidos podrán ser por ejemplo: el inventario total por producto y por tanque en las estaciones Libertad, Monteverde, Manta y Pascuales, el contenido de los tres tramos del Poliducto.

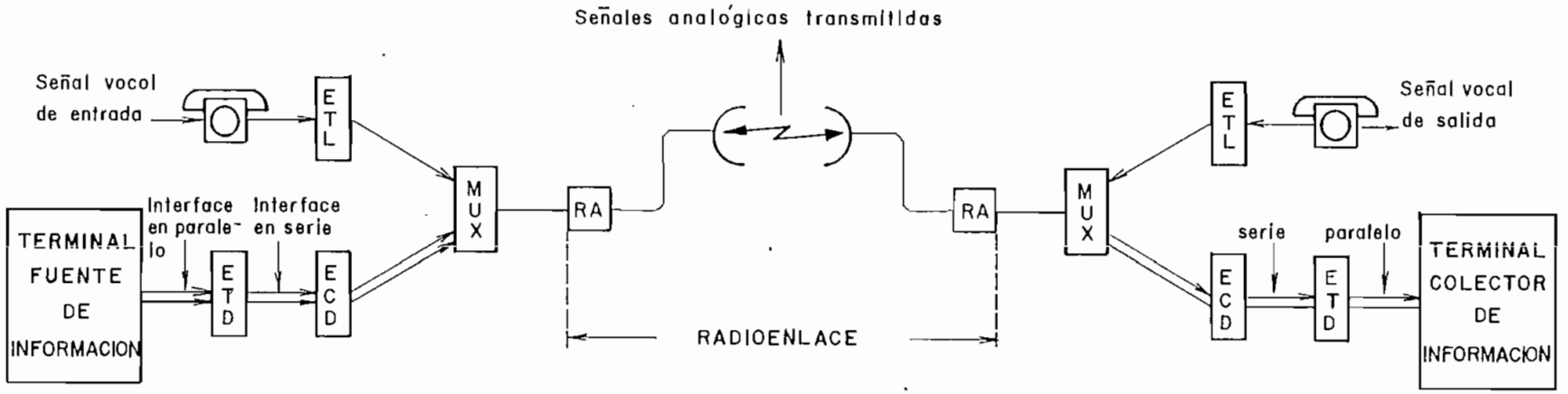
1.2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA TELEFONICO Y DATOS PARA EL SERVICIO DE TERMINALES.

1.2.1. Introducción.

En base a lo explicado en el punto 1.1., vemos que el sistema de control y transferencia de información (voz y datos), está basado en un sistema de transmisión analógico de radio FMD/FM. El mismo pone a disposición un cierto número de canales telefónicos, los mismos que son utilizados tanto para transmisión de datos en forma digital, y transmisión analógica de señales vocales, como lo muestra la Fig. 1-1.

En la fig 1-1 puede verse la arquitectura de un sistema de transmisión de voz y datos en su configuración elemental. Tal sistema consta de los siguientes elementos.

- Fuentes de información (voz y datos)
- Colectores de información (voz y datos)
- Dos equipos terminales analógicos (MULTIPLEX)
- Dos equipos terminales de datos (ETD)
- Dos equipos terminales de línea (ETL)
- Dos equipos de comunicación de datos (ECD)
- Canales de transmisión analógicos. (Radioenlace analógico).



NOTA.- ETL : EQUIPO TERMINAL DE LINEA (SEÑALIZACION)
ETD : EQUIPO TERMINAL DE DATOS (INTERFAZ PARALELO - SERIE)
ECD : EQUIPO DE COMUNICACION DE DATOS (MODEM'S)
RA : EQUIPO DE RADIO UHF

Fig I - 1 Transmisión Analógico de señales vocales y datos

En términos generales, las fuentes y colectores de información, son los aparatos telefónicos para el caso de tratamiento de señales vocales, y los procesadores o cumputadores terminales para el tratamiento de datos.

El equipo terminal analógico MULTIPLEX, es el conjunto de medios electrónicos que permiten unir y separar los diversos canales telefónicos, utilizando para ello la técnica de Multiplex por División en frecuencia (FDM).

El equipo terminal de datos (ETD), realiza funciones apropiadas de serialización/deserealización de los bits para la transmisión recepción de datos, y por tanto permitir que la correspondiente estación de datos o computador transmita o reciba datos por medio de un radioenlace.

El Equipo Terminal de Línea (ETL) para comunicación analógica, preprara convenientemente a cada canal telefónico de manera de darle una adecuada señalización y sincronización a la señal de audio.

El Equipo de Comunicación de Datos (ECD), más comunmente denominada MODEM'S hace compatible los datos binarios en serie con las características del medio de transmisión, en nuestro caso un medio de transmisión analógico.

Por último, los canales de comunicación analógicos que en nuestro caso serán transmitidos, por un sistema de transmisión por radioenlace, operando en la banda de UHF.

En los siguientes puntos, se explicará por separado y en más detalle la estructura de la red telefónica la misma que incluye el radioenlace analógico, y la estructura de la red de datos.

1.2.2. Estructura del Sistema Telefónico

Como bien se sabe, para llevar a cabo una comunicación telefónica se precisan: dos aparatos de abonado (teléfonos), medios de

transmisión (en nuestro caso un radioenlace) y medios de conmutación que los enlazan en cadena.

Para tener una idea global de nuestro sistema telefónico, sabemos que los Sistemas de Poliductos que tenemos que enlazar son: (Ver Fig. 1-2).

- Libertad-Monteverde-Manta
- Monteverde-Pascuales (caso de nuestro estudio)
- Pascuales-Cuenca-Machala (Proyecto futuro).

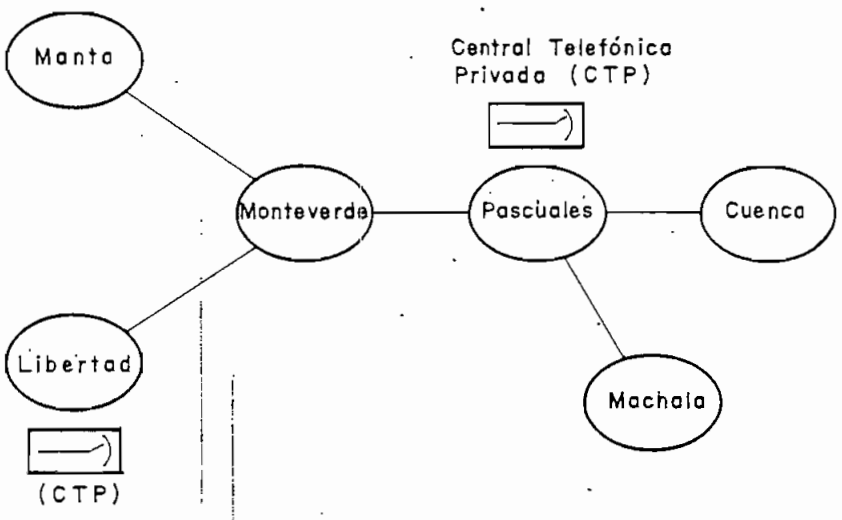


Fig 1-2 Sistema de Poliductos

Las estaciones Libertad y Pascuales, contarán cada una de ellas con una central Telefónica privada digital para llevar a cabo la conmutación, tanto de señales telefónicas como de datos.

Las líneas con conmutación (u obtenidas por marcación), presentan la importante posibilidad de conectarse con cualquier, punto de la red telefónica nacional y lo que es más con la red mundial. Esta posibilidad tendrá lugar ya que estas centrales privadas se interconectarán con las centrales telefónicas del IETEL, mediante líneas arrendadas a la misma Institución, ingresando de esta manera a la red de conmutación nacional e internacional.

Las centrales privadas, son totalmente automáticas, por lo que no serán necesarias operadoras en dichas estaciones. Debido a que el tráfico de llamadas es relativamente bajo, inclusive en un comienzo no se utilizará la parte de conmutación de datos, estas centrales adquieren la jerarquía de centrales urbanas, por estar directamente conectadas a los abonados y de tránsito al estar interconectadas entre ellas.

Comenzando a analizar de sobre cual medio de transmisión se puede utilizar, veremos aquel que nos interesa de entre varias opciones actuales. De estos varios medios me referiré a los de tipo circuito individualizado eléctricamente más no físicamente, por ser los primeros de tipo moderno y por tanto más eficaces y económicos.

Los circuitos individualizados eléctricamente, satisfacen la necesidad de cubrir grandes distancias con un número masivo de comunicaciones simultáneas.

El espacio ocupado por cada comunicación, recibe el nombre de "canal" equivaliendo a un circuito individualizado. El equipo electrónico que permite unir y separar los diversos cánales se conoce como sistema MULTIPLEX, y el circuito por el que se transmite la señal conteniendo un cierto número de canales, se denomina "portador del sistema".

Para cada canal se precisa utilizar una anchura de banda de 4 KHz (canal CCITT) de los que 3.1. KHz se ocupan por la señal propiamente dicha y el resto se emplea como zona de guarda, que impide la interferencia entre canales adyacentes.

Por otra parte, el medio físico portador de un sistema de audiofrecuencia, será capaz de transmitir un ancho de banda que puede variar entre algunos KHz y muchos MHz.

Una de las técnicas para llevar a cabo la Multiplexación, ajustándose a valores de ancho de banda fijados por organismos internacionales tales como el CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía) y el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radio), es el denominado "Multipexación por División de Frecuencia (FDM).

La técnica FDM, es la que utilizaremos, y en la misma, cada uno de los n canales del sistema ocupa permanentemente sus 4 KHz de ancho de banda. El sistema se encarga de trasladar los canales para colocarlos en la zona del espectro que le corresponda.

De entre los modernos medios de transmisión de señales, y el que más se acomoda a las necesidades de nuestro sistema de comunicación telefónico, es el de "Radioenlaces", el mismo que a partir de éste momento, adquirirá la mayor parte de nuestra atención y estudio en detalle.

Los enlaces radioeléctricos, basados en la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre han sido y son ampliamente utilizados en redes de telecomunicación, como medios de transmisión a gran distancia. Como característica principal, citamos el hecho de que sólo precisan medios físicos en los puntos de origen y destino (estación transmisora y receptora), aparte de las estaciones repetidoras, cuando la distancia a cubrir las requiere.

En la estación transmisora, el equipo de radio constituido por

el modulador y el transmisor básicamente, modula y amplifica la señal de R.F., para la misma ser radiada hacia el extremo receptor, por medio del sistema de antena.

En la estación receptora, se capta la señal a través de la antena de recepción, para luego pasar al receptor y de este al demodulador y por último al múltiplex, para por último recobrar la señal de audio frecuencia.

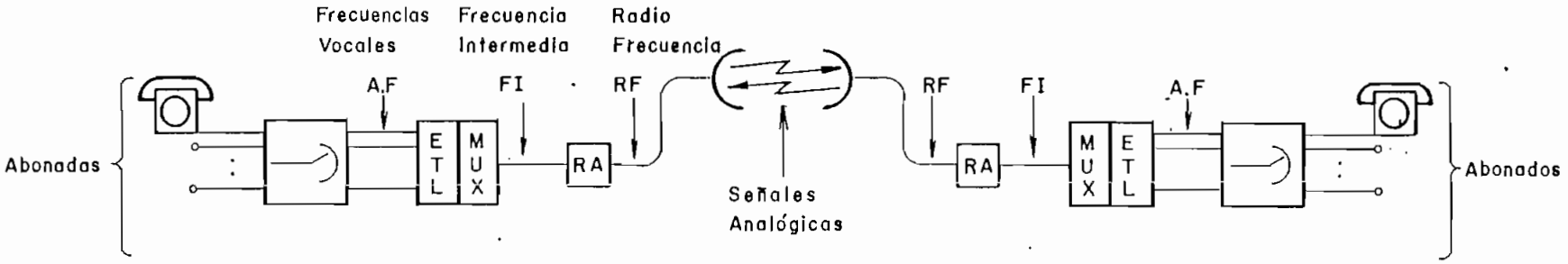
Tratando de visualizar todo lo explicado en este punto, a continuación en la Fig. 1-3, se tratará de recoger las ideas anteriormente expuestas, acerca de la estructura del Sistema Telefónico.

1.2.3. Estructura del Sistema de Datos.

Como se había visto en puntos anteriores, el sistema de Comunicación de datos, se encuentra basado en un sistema centralizado denominado el Master del SCADA, constituido por un computador activo y uno de reserva, el mismo estará en condiciones de procesar información proveniente de unidades terminales remotas (RTU's), y unidades lógicas programables (PLC's), cuyo soporte de medio de transmisión, es un sistema de radioenlace, con servicio para 24 canales telefónicos, por los cuales se transfiere la información de una manera secuencial y cíclica.

El conjunto de programas que se ejecutan en el computador Master, constituye el sistema operativo, el mismo que está orientado a realizar las tareas de supervisión y control de toda la información procedente de todas las unidades terminales de datos, del Poliducto.

El medio de transmisión entre el Master y cada una de los terminales como ya había mencionado, lo constituirán dos canales telefónicos dedicados uno activo y otro de reserva, cuyo modo de funcionamiento será en "Semiduplex", esto es, con capacidad de transmisión de datos en dos sentidos opuestos aunque no simultánemente. Es el modo más corriente usado, especialmente cuando la velocidad de transmisión de datos es baja (menor que 1800



NOTA .- EL EQUIPO DE RADIO INCLUYE EL MODULADOR, DEMODULADOR, TRANSMISOR, RECEPTOR Y DUPLEXOR, BASICAMENTE.

Fig I - 3 Estructura Básica del Sistema Telefónico

bits/s.

Además del modo de funcionamiento (Semiduplex), la idea de movimiento de datos, entraña la de velocidad a que se realiza, y aquí es donde interviene la anchura de banda del canal asignado, cuanto mayor es ésta, mayor es la velocidad de transmisión de datos. La velocidad máxima alcanzable por una línea de comunicación de anchura de banda de BHz, es de 2B elementos distinguibles de señal (símbolos) por segundo.

En este punto de análisis cabe mencionar y analizar dos conceptos básicos:

- Velocidad de modulación Vm.

Es la que interesa al técnico de comunicaciones, para fijar las características del medio de transmisión. Puede definirse como número máximo de veces por segundo que puede cambiar el estado de señalización en la línea.

Se utiliza como unidad el baudio, equivalente a un intervalo significativo por segundo.

$$Vm = 1 / t \text{ baudios} \qquad (1\text{-}1)$$

t = duración en segundos del intercalo significativo mínimo.

- Velocidad de transmisión serie Vt.

Se define como el número máximo de elementos binarios (bits) que pueden transmitirse por un determinado circuito de datos durante un segundo.

En general, si el número de estados significativos de la modulación (posibles estados distintos en la línea), es n, a cada estado corresponderán $\log_2 n$ bits de información. Por consiguiente:

$$Vt = \frac{1}{t} \log_2 n = Vm \log_2 n \text{ bits/s} \qquad (1\text{-}2)$$

Por ejemplo: un determinado tipo de modulación utiliza ocho estados distintos en línea, a cada uno de los cuales se hace corresponder uno de los posibles ocho grupos de tres bits que pueden formarse con el "1" y el "0" ($\log_2 8 = 3$). Por tanto tendremos que para modulaciones de 1200, 1600 ó 2400 baudios:

Vm = 1200 bd ⟶ Vt = 3 Vm = 3600 bits/s
Vm = 1600 bd ⟶ Vt = 3 Vm = 4800 bits/s
Vm = 2400 bd ⟶ Vt = 3 Vm = 7200 bits/s

En conclusión la velocidad de modulación Vm, tiene que ver con la línea de transmisión. La velocidad de transmisión Vt, tiene que ver con el circuito de datos.

Intimamente relacionados con los conceptos anteriores, está el que la transmisión de datos se realizará en serie, es decir los datos serán transferidos bit a bit, utilizando para ello un único canal. Es la forma normal de transmitir datos a largas distancias.

El Sistema, empleará además transmisión tipo "Asíncrona". La señal que se transmite es de la forma indicada en la Fig. 1-4.

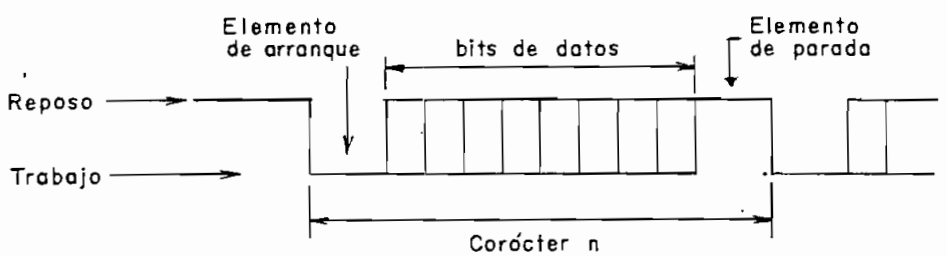


Fig. 1-4 Transmisión Asíncrona

Los datos asíncronos son generados de ordinario por terminales de baja velocidad (menor a 1800 bits/s). Los caracteres se identifican mediante estados de la línea que indican el arranque y la parada, para permitir que el terminal receptor se sincronice con el transmisor, caracter por caracter.

Los n bits que forman la palabra del código correspondiente, van siempre precedidos de un bit "o" llamada arranque y seguidos de, al menos, un bit "1" conocido como parada, que puede ser, en algunos sistemas, de 1.5 ó 2 bits. El citado conjunto constituye un "carácter" pudiendo mediar entre dos consecutivos, cualquier separación.

El sincronismo de caracter, antes explicado, es aquí muy simple ya que el receptor sabe que el primer bit significativo, es siempre el que sigue al bit de arranque, que es perfectamente identificable.

La transmisión de tipo ASINCRONA, utiliza terminales más baratos, si bien conlleva una menor eficiencia de la utilización de la línea.

Ahora bien remitiéndonos nuevamente al esquema general del sistema de transmisión de datos (Fig: 1-1), habíamos hablado del equipo de comunicación de datos (ECD), más comunmente conocidos como MODEM's, los mismos, convierten datos digitales de un terminal en una onda portadora modulada, a fin de que pueda transmitirse por el canal de comunicación analógico.

Los Modem's de tipo más corriente aceptan una entrada binaria en serie del equipo terminal de datos (ETD) transmisor, y suministran una salida binaria en serie al ETD receptor.

El proceso de modulación por el cual el tren de datos entrante genera una señal analógica, compatible con el medio de transmisión, a base de modificar, en función de la señal de entrada, alguno de los parámetros que definen una onda senoidal pura (llamada portadora) de la forma $A \cos (2\pi ft - \emptyset)$, lo que da lugar a tres sistemas básicos de modulación:

- De amplitud o ASK, a cada valor o estado de la señal entrante, se hace corresponder otro de la amplitud "A" de la portadora.)Fig. 1-5).

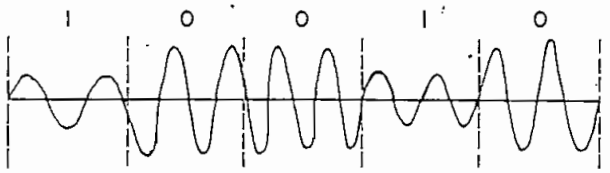


Fig 1-5 Señal de datos modulada en amplitud

De frecuencia o FSK, la cual consiste en variar la frecuencia - de la portadora "f" en función de la señal de entrada, (Fig. 1-6). Este tipo de modulación es la que utilizaremos, ya que ésta técnica es generalmente muy apropiada para los dispositivos de baja velocidad (menor o igual a 1800 bits/s).

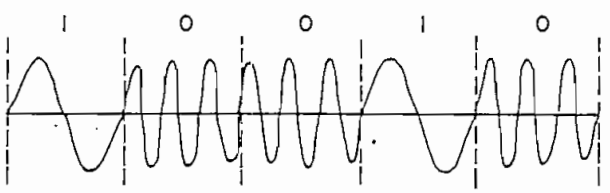


Fig 1-6 Señal de datos modulada en frecuencia

- De fase o PSK, en cuyo caso se provocan saltos bruscos y predeterminados en la fase Ø de la portadora, de acuerdo con la señal de entrada. (Fig. 1-7).

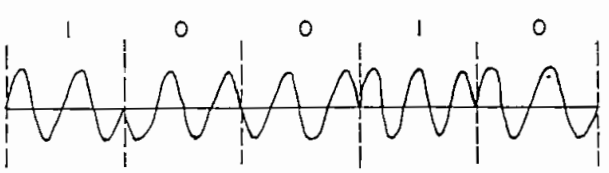


Fig 1-7 Señal de datos modulada en fase

El proceso de demodulación, inverso a la modulación, y como tal, consistirá en reconstruir, a partir de la señal recibida de la línea el tren de datos que la originó.

Normalmente, estos dos procesos descritos, se realizan en un único conjunto físico que recibe el nombre de MODEM contracción de - Modulador-Demodulador.

El CCITT ha normalizado una serie de Modem's, que cubren prácticamente la totalidad de las necesidades presentadas hasta hoy. En las correspondientes recomendaciones del CCITT (libro naranja, tomo VII-1), se describen con todo detalle todas y cada una de las características que definen cada tipo de modem.

Aquí me limito a describir en forma resumida, el tipo de recomendación, denominada V-23, la misma que satisface nuestros requerimientos en estudio, y sus características son las siguientes:

Modem según recomendación V-23:

Este tipo de modem es, actualmente, el de mayor uso en la transmisión de datos, por las siguientes características:

- Medio de transmisión: modo punto a punto
- Línea dedicada: a 2 hilos (semiduplex)
- Velocidad de transmisión: 600 y 1200 bits/s
- Tipo de transmisión: asíncrona
- Modo de explotación: semiduplex o duplex completo.
- Tipo de modulación: FSK.

Para terminar con este punto, pasaré a explicar la configuración de la red de datos, teniendo para ello que remitirme al punto 1.1.3, el cual trata sobre el Sistema SCADA, en el mismo se llega a establecer que la estación Master (el computador principal), interroga secuencialmente a las estaciones terminales remotas, actualizando y procesando de esta manera toda la información procedente de las mismas, estableciendo así un control automático, del funcionamiento integral del Poliducto.

Para conectar las estaciones terminales de datos con el Master -

del SCADA, se utilizará líneas dedicadas de comunicación (un canal activo y otro de reserva), de esta manera cada estación terminal, se encontrará enlazada con el Master en una configuración fija denominada "línea punto a punto", como lo muestra la Fig. 1-8.

La configuración punto a punto, entonces presenta la ventaja de tener acceso directo entre las dos estaciones, sin limitación de tiempo ni utilización. Es una configuración privada, ya que no permite el acceso de otros usuarios, al estar constituido por uniones permanentes e individuales.

Otra de las ventajas de este tipo de configuración será la facilidad de operación, pues los terminales no necesitan un procedimiento de acceso para conseguir entrada al procesador, ni requieren identificación ya que hay una correspondencia biunívoca entre una puerta física de la unidad de control de líneas y el terminal.

En contrapartida, desde el punto de vista económico, un sistema punto a punto, resulta caro, por el hecho de utilizar un canal de comunicación dedicado para cada estación terminal. Sinembargo, ya que nuestro sistema de comunicación de datos y voz, justamente se trata de un sistema privado con posibilidades de disponer de un determinado número de canales telefónicos dedicados exclusivamente para transmisión de datos, disponer de una configuración de este tipo, es claramente justificable.

Con todo lo explicado en los párrafos anteriores, vemos pues que la estación Master, está en disponibilidad, de actuar sobre cualquiera de las estaciones terminales, de una manera aleatoria si se quisiera, más se ha pensado en que el intercambio y procesamiento de información entre las estaciones terminales y el Master, se realice de una manera secuencial, es decir estación por estación.

En tales circunstancias, el Master realiza una serie de interrogaciones secuenciales a las estaciones terminales, a fin de que las mismas envíen sus mensajes pendientes, a la vez de recibir por par-

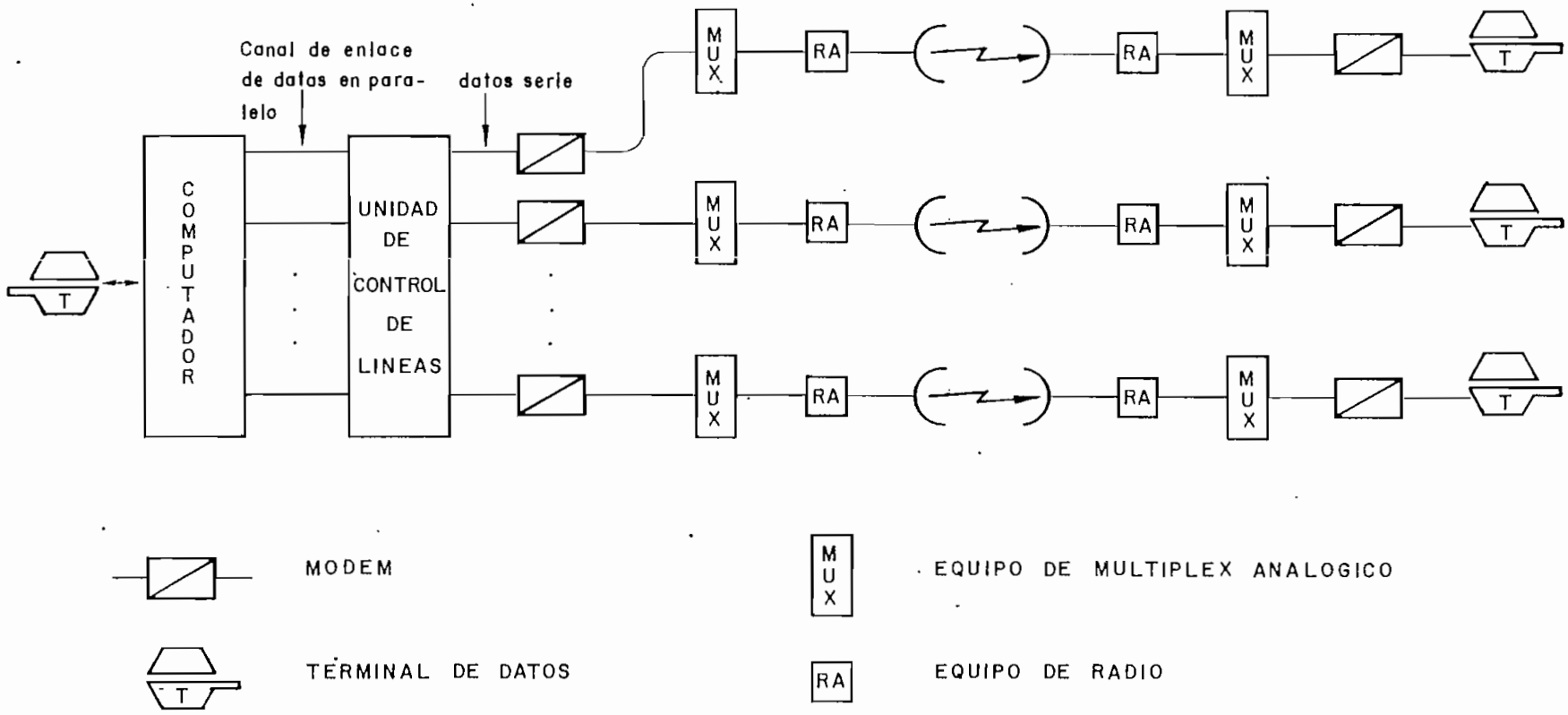


Fig. I - 8 Configuración " Punto a punto " de la red de Datos

te del Maste, órdenes y comandos de control, para el perfecto funcionamiento de todo el Sistema del Poliducto.

A más de contar con una transferencia secuencial de información entre el Master y cualquier terminal de datos, en caso de emergencia, todos los terminales de datos están en posibilidad de enlazarse con el Master, juntos a la vez, ya que la configuración punto a punto así lo permite, como ya se había explicado anteriormente.

Concluyendo, podemos decir que la configuración de la red de datos, brinda un alto margen de seguridad para el intercambio de información, la misma que asegurará el perfecto mantenimiento y control del funcionamiento de todo el Poliducto.

1.3. SERVICIOS ESPECIALES DE TELEFONIA S + Dx y HOT LINE

1.3.1 S + Dx

El servicio especial S + Dx, viene de las palabras Speech Plus Datatelex (voz más datos de Telex). Como es de suponer entonces, se trata de transmitir por determinado medio, voz y datos a la vez.

En muchas partes del mundo y en mayor grado en nuestro país, se presenta la situación de que cada vez es más difícil conseguir cupo (cable metálico multipar) requerido para conectar dos abonados que desean transferir información de Telex, debido a la saturación de dichas redes de transmisión. Es por ello que se ha diseñado un sistema que, valiéndose del servicio que presta un canal telefónico cualquiera, utiliza este medio de transmisión para enviar información de Telex y voz simultáneamente.

Este sistema, por el hecho de utilizar la línea telefónica para transmitir voz y datos, no ha sido diseñada para que el servicio telefónico sufra degradación alguna, al contratio, la transmisión de datos es transparente al servicio de voz. Por lo que este sistema, lo único que hace es aprovechar al máximo la capacidad de ancho de banda que posee un canal telefónico. (4 KHz).

Básicamente dicho sistema, lo que hace es comprimir el espectro de frecuencia de la señal de audio, que normalmente es de 3100 Hz, para dejarla a sólo 2300 Hz, dando lugar a que la diferencia de espectro sea utilizada para la información de datos (telex).

La información de datos (pulsos digitales) antes de ser insertada en el canal telefónico entre los 2600 y 3000 Hz, pasa a través de un MODEM, con modulación en frecuencia (FSK), el mismo que convierte la señal digital (pulsos), en una señal análoga continúa, donde el cambio de frecuencia determina si el estado que se está siendo transmitido es un "uno lógico" o un "cero lógico".

La información conjunta de voz y datos, contenida en un solo canal telefónico, puede ser transmitida y receptada por cualquier medio de transmisión tales como líneas públicas telefónicas, radio HF, radio VHF, radio UHF, microondas, satélite, etc.

1.3.2. Hot Line (Línea caliente) :

Es un tipo de comunicación instantánea que no necesita de marcación, La misma se lleva a cabo tan solo al alzar el auricular del teléfono y permite al abonado efectuar una llamada a un número o extensión previamente registrada en la central telefónica, sin tener que marcar.

En el caso de nuestro sistema de Telecomunicaciones, y si hacemos referencia a la figura 1-1, la parte del sistema que se encarga de establecer este enlace directo es el Equipo Terminal de Línea (ETL), equipado adecuadamente con circuitos especiales, para este tipo de línea.

Básicamente, el modo en que se lleva a cabo este tipo de comunicación directa es el siguiente: Al levantar el auricular, se genera una señal de voltaje contínuo (DC), la misma que al ser detectada en el circuito respectivo del Equipo Terminal de Línea (ETL), éste automáticamente se encarga de generar una señal de tipo sinu -

soidal alterna, generalmente de 20 Hz ó 16 Hz, señal que luego de ubicarse adecuadamente, dentro del ancho de banda del canal telefónico es transmitida hacia el extremo receptor, donde así mismo después de pasar por el demultiplexaje, llega a su Equipo Terminal de Línea, para el mismo realizar el procedimiento inverso, es decir, captar la señal que generará una señal de 20 Hz a 90 voltios con la finalidad de señalizar al abonado del otro extremo del circuito.

En resumen, el Equipo Terminal de Línea (ETL), es el encargado de brindar una señalización especial, cuando el aparato telefónico es de tipo "hot line". Dicha señalización, lo que hace, es ahorrar el tiempo que se utiliza en la marcación, cuando de antemano se sabe, que existe un canal dedicado exclusivamente para establecer una comunicación directa solamente entre dos abonados específicos, tal es el caso, entre:

Monteverde y Libertad
Monteverde y Manta
Monteverde y Pascuales
Monteverde y Machala
Monteverde y Cuenca.

Dichas comunicaciones, si se quisiera, se efectuarían juntas a la vez, sin interferir para nada la una con la otra es decir son comunicaciones directas e independientes entre el Master (Ubicado en Monteverde) y los: Terminales del Poliducto.

Como es de suponer, este tipo de comunicación directa, brinda una eficaz y rápida comunicación de voz, especialmente cuando situaciones de emergencia y apremio se presentan, dado justamente a lo delicado que resulta transportar y manipular enormes cantidades de combustibles altamente inflamables, por lo que su control y supervisión requieren de un rápido y ágil sistema de comunicación.

1.4. ANALISIS DE LAS CAPACIDADES DE LOS DIFERENTES SISTEMAS

El detalle de las capacidades de los diferentes equipos que involucra el Sistema SCADA, para el tratamiento de la información de datos, está fuera del alcance al que va dirigido el presente trabajo de tesis. A pesar de ello, un dato si nos interesa, el mismo tiene que ver con la velocidad a que se desea que los datos se transfieran.

En el punto 1.2.2., se especificó que la velocidad de transmisión de datos con que se quiere que cuente el sistema SCADA, es de Vt = 1200 bits/s. Por otra parte, el acondicionamiento de medio de transmisión digital a medio de transmisión analógico (el radioenlace), se lo realizará utilizando MODEM'S que empleen técnica de modulación en frecuencia (FSK), por lo que el número de estados distintos en línea "n", será igual a 2, ya que el estado "uno lógico" estará representado por una determinada frecuencia "f1" y el cero lógico" por una frecuencia "f2".

Si despejamos de la ec. 1-2 el valor de Vm y reemplazamos el valor de Vt = 1200 bit/s y n = 2 queda que:

$$Vm = \frac{Vt}{\log_2 n} = \frac{1200}{\log_2 2} = \frac{1200}{1} \quad \text{baudios}$$

Por lo tanto : Vm = 1200 bd.

Con respecto a la capacidad del sistema de transmisión de voz y datos, que en nuestro caso es un sistema de radio enlace trabajando en la banda de UHF, vemos que dicha capacidad estará establecida de acuerdo al número de canales que se requiera en la estación Master del SCADA ubicada en Monteverde, necesarios para enlazarse con las estaciones terminales del Poliducto.

En primer lugar, el sistema de comunicación de datos, por tener una configuración de línea punto a punto, necesitará de 2 canales telefónicos (uno activo y otro de reserva) para comunicarse con

cada una de las 5 estaciones remotas terminales (ver Fig. 1-2). Por tanto 10 canales telefónicos serán indispensables para establecer dichas comunicaciones.

Se necesitará una extensión telefónica, para enlazarse con cualquiera de las 5 estaciones remotas. Por tanto 5 canales más serán requeridos.

Por último, el Sistema Hot Line, también requerirá de 5 canales para comunicación directa con cada estación remota. Por lo que un total de 20 canales telefónicos, serán requeridos para satisfacer la demanda de transmisión de voz y datos.

Para tener cierta olgura, se ha pensado que el equipo de radio enlace, cuente con una capacidad de 24 canales telefónicos, cada uno con ancho de banda de 4 KHz.

Un sistema de radio, con capacidad para 24 canales telefónicos, es un sistema de baja capacidad, por su pequeña capacidad de ancho de banda (24 can. x 4 KHz/canal = 96 KHz). Por lo que se acostumbra, a que este tipo de radio trabaje en el rango de frecuencia UHF.

Los equipos de radio UHF (250 a 960 Mhz) presentan las siguientes ventajas:

- Utiliza un equipo de radio, cuyos componentes electrónicos, cada vez adquieren una configuración más compacta y por tanto adquieren dimensiones físicas pequeñas.

- La tecnología, cambiante, cada vez minimiza el costo de los componentes, hace que estos equipos sean relativamente muy económicos, para el servicio privado que brindan.

- El sistema de radiación de la energía electromagnética, está constituido, por antenas direccionales de tipo YAGI, con bajo peso, debido a su simple configuración como es sabido.

- Las estructuras de anclaje y soporte de las antenas, lo constituyen así mismo torres de bajas exigencias estructurales, pues generalmente se tratan de torres soportadas (utilizan cables que las anclan, llamadas contravientos) y por tanto se trata de torres de bajo costo.

- El sistema de líneas de alimentación o sea los cables coaxiables, que van desde el equipo de radio hasta las antenas, así mismo se trata de un equipo muy económico en compración con el sistema de guia onda.

- La banda de frecuencia de trabajo práctico, ubicado entre los 250 y 900 MHz, es una banda que posee cierta flexibilidad y facilidad en lo que se refiere a las características de propagación de las ondas espaciales.

- El equipo de radio UHF, emplea potencias para los transmisores relativamente bajos, entre 5 y 25 watios.

Por último y para terminar con el presente capítulo, en el Anexo Fig. 1, presento un plano conteniendo un diagrama de bloques del Sistema de Telecomunicaciones del Poliducto Monteverde-Pascuales.

2.1. COMPOSICION GENERAL DEL RADIOENLACE

El Sistema de Telecomunicaciones contemplado para el servicio del Poliducto Monteverde-Pascuales, está basado, en un sistema de comunicación del tipo punto a punto, es decir un sistema de radioenlace con características de propagación de las ondas electromagnéticas que siguen una trayectoria libre de obstáculos (existencia de línea de vista).

Los sistemas de comunicación punto a punto, presentan la ventaja de poder transmitir grandes capacidades de canales de información (sobre los 1800 canales telefónicos) con un alto rendimiento y confiabilidad, utilizando equipo menos voluminoso y costoso, con bajo consumo de potencia y costos de mantenimiento cada vez menores. La principal desventaja, incluye el rango pequeño de distancias de transmisión entre una antena y la otra.

Un estudio topográfico general de la zona que involucra los puntos a enlazar, esto es Monteverde y Pascuales, preveedistancias de trayectos mayores a 50 Km, éste hecho ha influido para que nos decidamos utilizar equipos de radio de tipo analógico para telefonía multicanal con capacidad de 24 canales telefónicos por Múltiplex por División en Frecuencia (FDM), con Modulación en Frecuencia (FM) de la portadora de Radio Frecuencia (RF).

Equipos de radio digital, limitan la distancia de los diferentes trayectos a máximo 50Km. Este tipo de sistemas son muy utilizados cuando el requerimiento de capacidad de canales es grande, ya que los costos de dichos equipos actualmente, están siendo mucho menores que los de tipo analógico.

La Técnica de Múltiplexaje por División en Frecuencia (FDM), realiza el ordenamiento de la información a ser transmitida.

Dicho ordenamiento, da lugar a la formación de la Banda Base (B.B.). La Banda Base, no es más que el acomodo ordenado de los di

ferentes canales telefónicos, uno a continuación de otro a lo largo del espectro de frecuencia, de acuerdo a recomendaciones establecidas por el Comité Consultivo Internacional de Radio y Telefonía (CCITT).

Cada canal telefónico, es el portador de la información de Audio Frecuencia (AF), dicha información de acuerdo al CCITT, ocupa un ancho de banda efectivo de 3.1. KHz, del total de los 4 KHz del canal vocal telefónico, el espacio de frecuencia que no ocupa la información es utilizada para fines de señalización.

El traslado de los diferentes canales telefónicos, para ubicarlos uno a continuación de otro a lo largo del espectro de frecuencia, se lo realiza empleando Modulación de Amplitud (AM.), empleando la técnica de obtención de la Banda Lateral Unica con Portadora Suprimida (S.S.B.S.C.).

El acomodo de los diferentes canales, se lo realiza de una manera ordenada y por partes. Primero se agrupan 12 canales telefónicos, dando lugar al denominado Grupo Básico que va desde los 12 a 60 KHz, el circuito que realiza esta función se denomina Trasladador de canales. Agrupando 5 grupos básicos, se forma un Supergrupo, utilizando para ello el llamado Traslador de grupos básicos. El acomodo de cinco supergrupos, da lugar a un Grupo Maestro, utilizando para ello el denominado Traslador de Supergrupos.

Ya que nuestro sistema de radio, cuenta con una capacidad de 24 canales telefónicos, de acuerdo a recomendaciones del CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía), la banda básica ocupará un ancho de banda de 4x24 = 96 KHz, y estará ubicada en el rango de frecuencia de 12 a 108 KHz.

En tales condiciones el canal 1, estará ubicado entre los 12 a 16 KHz, el canal 2 de 16 a 20 KHz, y así sucesivamente hasta que el canal 24 estará ubicado entre los 104 y 108 Khz.

Por lo visto el equipo de Múltiplex, da lugar a la formación de la banda básica, en su circuito de salida. Dicha banda básica, es la que modulará el transmisor y que será demodulada en el otro extremo para ser reconstruída y separados nuevamente cada uno de los 24 canales telefónicos, mediante el Demultiplexaje.

El efecto que se pretende, cuando la banda base modula el transmisor, es trasladar el espectro de frecuencia de la banda básica al rango de radio frecuencia (RF), para de esta manera la señal esté lista para ser radiada el espacio libre en forma de ondas electromagnéticas por medio del sistema de antenas.

El tipo de modulación, empleada en el equipo de modulación del transmisor, es del tipo Modulación en Frecuencia (FM), la misma primordialmente mejora la relación señal a ruido (S/R), que se tendría utilizando modulación en amplitud, aplicando la misma potencia en el equipo transmisor. Además, es muy utilizada en equipos de radio con grandes capacidades de canales telefónicos, por su economía- - flexibilidad y rendimiento.

De lo expuesto, nuestro sistema de radio por estar constituído de un número pequeño de canales telefónicos, tan sólo 24, el mismo se ubica en la categoría de ser un "Sistema de baja capacidad" (hasta 60 canales).

Los sistemas de baja capacidad, generalmente acostumbran trabajar con equipos de radio que trabajen en la banda de UHF (de 300 a 1000 MHz), debido justamente a que la banda básica de este tipo de sistemas ocupa un estrecho ancho de banda, que en nuestro caso es - de 96 KHz.

El utilizar equipos que trabajen en el rango de UHF, presentan la ventaja de ser principalmente económicos y ser muy flexibles en su utilización.

Para el estudio de diseño que nos interesa, nos ubicaremos en

el rango de frecuencia de trabajo que vaya desde los 270 a 470 MHz, dejando a criterio del Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL), la adjudicación de las frecuencias que se conceda a nuestro sistema de telecomunicación, propiedad de CEPE.

Para fines de cálculo, del rango de frecuencia elegido, escogeremos un valor adecuado de:
f= 450 MHz, pues a más alta frecuencia, el diseño requiere más atención, especialmente en lo que se refiere a atenuaciones de la señal.

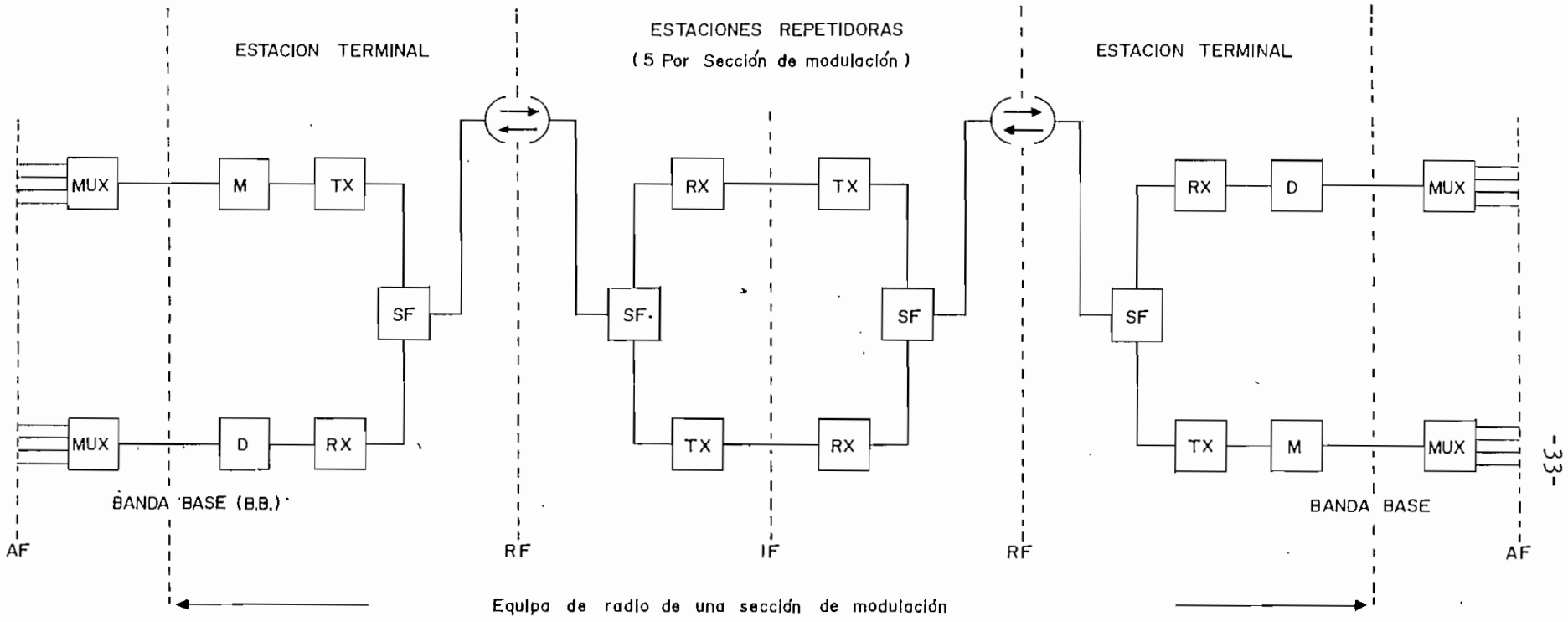
La Fig. 2-1, ilustra de mejor forma todos los conceptos hasta aquí expuestos.

En la figura 2-1, los dos equipos terminales, ubicados en los extremos, lo constituirán nuestras dos estaciones a enlazar, esto es, Monteverde y Pascuales.

El equipo de estos dos terminales, como se podrá observar, cuenta con elementos de modulación y demodulación, para el tratamiento de la señal de radio frecuencia (RF). Así mismo cada terminal poseeel equipo necesario para la multiplexación y demultiplexación, para el tratamiento de la señal de banda base y señales de audio frecuencia (AF) respectivamente.

Las estaciones repetidoras, cuyo papel no es sino captar la señal de R.F., amplificarla y volver a enviarla hacia otra repetidora o al terminal, no necesitarán equipo de modulación y demodulación, ni tampoco equipo de Múltiplex, ya que aquí no necesitamos disponer de la información trasmitida. Es decir en las repetidoras, la señal sólo se encuentra de paso.

El repetidor heterodino es el más utilizado, y el que nosotros usaremos. El mismo, al receptar la señal de R.F., utilizando heterodinaje, hace que la señal baje a un rango inferior de frecuencia denominada Frecuencia Intermedia (IF), la misma que generalmente es de 70 MHz. La señal en este rango de frecuencia, como se deduce,



MUX	EQUIPO DE MULTIPLEX (FDM)	TX	TRANSMISOR	AF	AUDIO FRECUENCIA
M	MODULADOR (F.M)	RX	RECEPTOR	IF	FRECUENCIA INTERMEDIA
D	DEMODULADOR	SF	FILTRO SEPARADOR (FILTRODUPLEXOR)	RF	RADIO FRECUENCIA

Fig 2-1 Diagrama de Bloques de un Sistema de Radioenlace

es más tratable, especialmente en el aspecto de amplificación, función principal del repetidor, y por ende la baja producción de ruido, fundamental para cualquier sistema de radioenlace.

2.2. PROPAGACION EN LA BANDA DE FRECUENCIA ELEGIDA.

El sistema de telecomunicaciones a diseñarse, como habíamos explicado, contará con un sistema de radioenlace del tipo punto a punto o lo que es lo mismo un enlace que utilice trayectorias que posean línea de vista entre sus extremos, (trayectorias electromagnéticas libres de obstáculos).

En el rango de frecuencia elegido de Ultra Alta Frecuencia (UHF), que para nosotros será de 270 a 470 MHz, se suceden ciertos fenómenos físicos en la propagación de las ondas electromagnéticas, que bien valen la pena mencionarlos a continuación.

Como bien se sabe de la teoría electromagnética, la propagación en el rango de UHF, con trayectorias del tipo punto a punto, próximos a la superficie de la tierra, se considera una propagación del tipo "Onda Terrestre".

La señal de la onda terrestre, conlleva dos tipos de propagación, la una denominada "Onda Espacial" y la denominada "Onda Superficial". La onda espacial a su vez está formada por la onda directa, señal que sigue un trayecto directo del transmisor al receptor, y la onda reflejada en tierra, que es la señal que llega al receptor después de haber sido reflejada en la superficie de la tierra. La onda espacial incluye también la parte de energía recibida como resultado de la difracción rodeando la superficie terrestre y refractándose en la atmósfera superior (tropósfera, que es la capa de la atmósfera más cercana a la tierra, la misma alcanza una altura de 10 Km.).

La onda superficial, es una onda guiada a lo largo de la superficie de la tierra, de un modo parecido a la onda electromagné-

tica guidada por una línea de transmisión, la atenuación de ésta onda está afectada directamente por las constantes eléctrica y de conductividad de la tierra que encuentra a su paso.

Antes de seguir, en los párrafos anteriores se ha mencionado - los términos Reflexión, Difracción y Refracción, a continuación, expongo conceptos claros de lo que significan los mismos:

- REFLEXION.

Las Reflexiones ocurren cuando las ondas de radio chocan con superficies lisas tales como agua, tierra lisa o el sector entre capas de atmósfera adyacentes de diferentes densidades. Si ambas ondas: reflegada y directa, son captadas por la antena de recepción, el nivel de la señal puede reducirse significativamente. Dependiendo de la longitud del trayecto reflejado comparado con el trayecto directo, la onda reflejada puede llegar a la antena receptora ya - sea en fase, fuera de fase o parcialmente fuera de fase respecto de la onda directa.

- DIFRACCION

Cuando la onda directa, pasa muy cerca, o en el peor de los casos es bloqueada por la presencia de un obstáculo, las pérdidas de transmisión se incrementan, pero eso no da lugar a que la señal no llegue al extremo receptor, es cuando se dice que se a producido difracción de la señal. En palabras sencillas, la señal que llega al obstáculo, se subdivide formando un entorno, rodeando el obstáculo, parte del entorno es receptado, el resto es señal perdida hacia o-- tras direcciones del espacio.

- REFRACCION

La refracción ocurre porque las ondas de radio viajan a dife - rentes velocidades a través de medios de distitna densidad. En el espacio libre teóricamente la velocidad de las ondas de radio es -

constante y máxima, pero en la atmósfera, donde la densidad de la misma es alta y variable sea por la presencia de gases y moléculas de agua, las ondas de radio viajan más lentamente.

En una atmósfera "standard", la presión, temperatura y el vapor de agua, decresen linealmente con el aumento de la altitud. La densidad atmosférica, sujeta a los parámetros antes mencionados, también decresen con el aumento de la altitud.

Las ondas de radio que van pasando de un medio más denso a otro menos denso, sufren un cambio de dirección en proporción a la diferencia de densidades. El resultado de este proceso hace que los rayos se curven hacia atmósferas más densas. En una atmósfera uniforme, donde el cambio de densidad es gradual, la refracción de las ondas de radio es también contínuo, es así que los frentes de onda son sensiblemente curvados desde las capas altas o las más bajas de la atmósfera. Ese curvamiento generalmente tiende a seguir la curvatura de la tierra, logrando de esta manera aumentar el alcance más allá del horizonte.

Retornando nuevamente el tema de la propagación en la banda de UHF, habíamos dicho que la misma se realiza en base a una onda espacial y superficial. Ambos tipos de propagación espacial y superficial, dependen en proporción inversa con la distancia, más aún, la onda superficial contiene un factor de atenuación adicional, el mismo que es función de la frecuencia.

El factor de atenuación adicional de la onda superficial, involucra a la constante de conductividad de la tierra, la misma en bajas frecuencias, (menor a 10 MHz) hace que la tierra se comporte como conductor y a altas frecuencias (rango de UHF) la tierra actúa como dieléctrico. Es pues entonces que en el rango de frecuencia elegido de 270 a 470 MHz, la atenuación de la onda superficial es grande, por lo que la propagación de la onda superficial está limitada a distancias muy cortas.

Sin embargo, en este margen de frecuencia, y empleando antenas elevadas conteniendo clara línea de vista entre las mismas, la propagación se lleva totalmente a cabo por las ondas de tipo espacial.

La onda espacial, en su forma de onda directa por efecto de refracción normal, viaja al extremo receptor siguiendo una trayectoria que posee una ligera curvatura descendente, permitiendo que el rayo directo alcance puntos algo más allá del horizonte visible.

La onda espacial en su forma de onda reflejada, se verá muy minimizada cuando la tierra no es plana, es decir accidentada o rugosa. Ello indica que las reflexiones deben ser menos importantes en las frecuencias más elevadas, debido a sus pequeñas longitudes de onda, ya que incluso las pequeñas irregularidades podrían bloquearlas y dispersarlas.

En conclusión vemos que la propagación en la banda de frecuencia elegida, se lleva a cabo básicamente por ondas de tipo espacial directa, las mismas que viajan en el espacio comprendido entre la superficie de la tierra y la capa inmediatamente superior de la atmósfera denominada tropósfera, siguiendo una trayectoria ligeramente curva y generalmente descendente.

No obstante, una forma de propagación, aunque de menos confiabilidad que la de onda espacial directa, es la demoninada propagación por dispersión troposférica. El mecanismo que la produce parece ser la dispersión y las reflexiones entre las inhomogeneidades del índice de refracción en la atmósfera dentro del volumen común de la tropósfera ocupado por los haces trasmisor y receptor.

Por tratarse de una comunicación del tipo más hallá del horizonte, hasta 300 o 400 millas, la potencia recibida disminuye según la sétima y octava potencia de la distancia. El nivel de la señal tiene variaciones de $\pm$ 10 dB, aunque las pérdidas de transmisión aumentan con la frecuencia, el margen de frecuencias de 100 a 10.000 MHz parece ser útil. Por tanto este tipo de propagación conlleva un desmejoramiento de la calidad de la señal, situación que

no se presenta cuando la comunicación se la planifica por onda espacial directa.

La Fig. 2-2, clarifica y agrupa todos los conceptos hasta aquí expuestos.

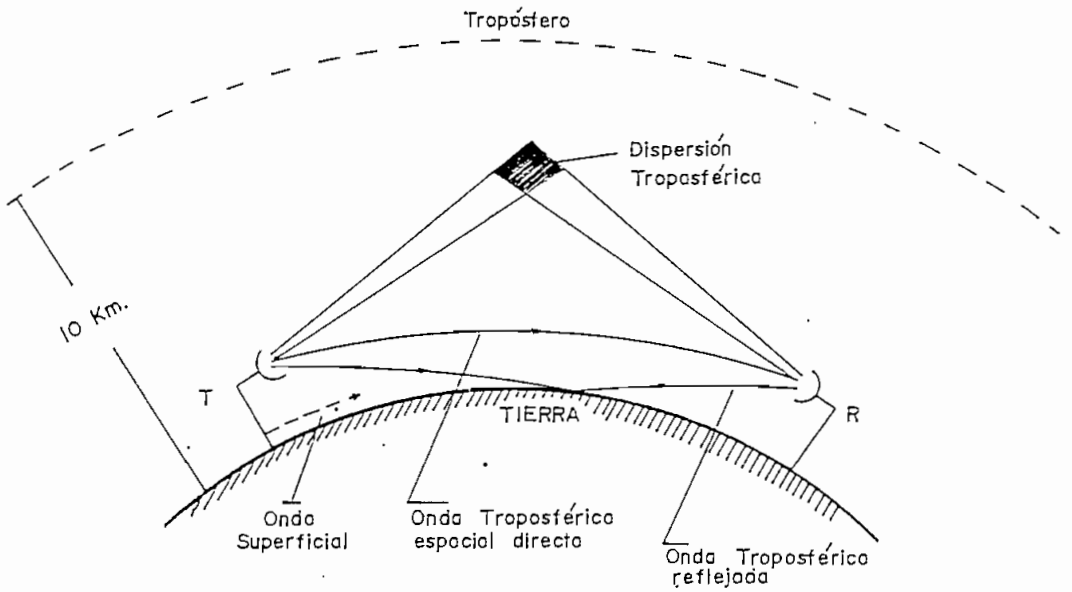


Fig. 2-2 Propagación en UHF

2.3. PLANIFICACION DE LA RUTA, ELECCION DE SITIOS PARA REPETIDORAS

Antes de proceder a un cálculo de las condiciones de calidad de un sistema de radioenlace, es necesario seleccionar el emplazamiento de las estaciones repetidoras.

En general, frente al proyecto de un radioenlace, las estaciones base terminales están impuestas, en nuestro caso Monteverde y Pascuales, y puede ocurrir que algunas de las estaciones repetidoras también lo estén, ya sea por motivos de tráfico de otros sistemas de radioenlace ya instalados o por cualquier otra razón.

La realización de un proyecto, debe comenzar siempre por el trabajo de gabinete, para el cual es necesario contar con suficiente información, comenzando por la de tipo topográfico, informaciones ex -

tras de servicios de comunicación ya instalados como de las Fuerzas Armadas, el Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL), etx., cercanos a la zona en estudio.

Con la mayor cantidad de información disponible, se procede a realizar una planificación provisional de la ruta. Dicha planificación se la realiza estableciendo las mejores facilidades que brinden los sitios de repetición seleccionados o sea; a qué distancia se encuentran de las poblaciones cercanas, si existen carreteras, y de que tipos son; si hay líneas de energía eléctrica, sus características, etc.

Una vez establecidas las mejores alternativas, que solucionen la posible ubicación de las repetidoras, se procede a estudiar si dichos puntos de repetición, permiten establecer una clara existencia de línea de vista, entre los distintos trayectos de todo el radioenlace, valiéndose para ello de la información topográfica de la zona, que se hubiere conseguido.

Dichos planos contienen curvas de nivel y, de ser posible los mismos deben, estar confeccionados a una escala de 1:25000 o mejor. Con esta información de altitudes del terreno en estudio, se elaboran perfiles, (asunto que se trata en el punto que sigue a continuación) los mismos que facilitarán ver si hay o no línea de vista.

Terminado el trabajo de gabinete y además de él, siempre es necesario realizar el trababjo de campo.

Dicho trabajo, está encaminado a efectuar una real verificación de las posibilidades que puedan brindar cada una de las alternativas, y de las mismas escoger aquella que posea las mejoras características que establezca la ruta definitiva del radioenlace en estudio.

El trabajo de campo principalmente conlleva, el varificar la existencia de línea de vista en todos los tramos del radioenlace, por medios ópticos, ya sea utilizando telescopios o en caso de visibilidad pobre recurriendo al método de los espejos, valiéndose del

reflejo sobre los mismos de la luz de los rayos solares.

En caso de que las zonas en inspección cubran grandes extensiones de terreno de difícil acceso por vía terrestre, se puede recurrir a realizar el "perfil aéreo". Ya sea con la utilización de un helicóptero o la de un avión provisto de los elementos necesarios. Se puede afectuar el relevamiento del perfil por medio de radar.

En base al seguimiento de todos éstos pasos, expuestos en los párrafos anterioes, hemos podido establecer los sitios de repetición que brinden las mayores facilidades y garantías para el perfecto - funcionamiento del Sistema de Telecomunicaciones diseñarse.

Por ser un proyecto, dedicado a prestar servicios a la Corporación Estatal Petrolera (CEPE), se logró conseguir cierta información reservada, por parte de las Fuerzas Armadas. De dicha información se pudo recavar la existencia de dos puntos de repetición de comunicaciones militares, ubicados entre la zona que va desde Monteverde a Pascuales.

Dichos puntos de repetición son Cerro González y Cerro Azúl, y como es obvio de suponer, los mencionados cerros, prestan todas las facilidades del caso, especialmente en lo que se refiere con el acceso a los mismos desde la carretera principal, pues se cuenta con una carretera del tipo de verano, lastrado y con distancias aproximadas de 10 Km.

Cerro González, tiene facilidades de contar con los servicios de energía eléctrica pública, y de estar cercano a pueblitos pequeños al lado de la carretera principal. Cerro Azúl encambio no cuenta con alimentación de energía eléctrica comercial, pues se abastece de la misma a base de generación térmica permanente, a cambio - presenta la ventaja de estar a solo 40 minutos de la ciudad de Guayaquil.

Como es también de suponer, entre éstos dos puntos de repeti -

ción existe perfecta línea de vista, por lo que sólo queda por determinarse, si la misma también existe entre nuestras estaciones de - Monteverde y Pascuales y los mencionados puntos de repetición, asunto que lo veremos más adelante.

Ya para pasar a exponer el punto que trata el asunto de los - perfiles y la verificación de la existencia o no de la línea de vista, dejaré establecido de una manera gráfica la ruta planificada, - por la que nos hemos decidido, para nuestro sistema de radioenlace.

En base a planos topográficos, conseguidos en el Instituto Geográfico Militar (IGM), los mismos que se encuentran editados en escala 1:50000, se ha podido determinar la ubicación geográfica exacta de los diferentes puntos que conforman la ruta de nuestro radioenlace, dichas ubicaciones son las siguientes:

Estaciones Terminales:

- Monteverde	S	2°	03'	06"	;	W	80°	43'	35"
- Pascuales	S	2°	04'	07"	;	W	79°	56'	57"

Estaciones Repetidoras:

- Cerro González	S	2°	20'	49"	;	W	80°	35'	00"
- Cerro Azúl	S	2°	09'	01'	;	W	79°	59'	03"

Con la ayuda de los mismos planos, y trabajando sobre ellos, se ha podido llegar a determinar los siguientes datos adicionales:

	Altura (metros sobre nivel del mar). m.s.n.m.
- Monteverde	0
- Pascuales	43
- Cerro González	265
- Cerro Azúl	466

Distancia "d" del tramo (en Km.).

- Monteverde - C. González (Tramo 1)	38.8
- C. González - C. Azúl (Tramo 2)	65.5
- C. Azúl - Pascuales (Tramo 3)	9.9

En la Fig. 2-3, presento un plano de la ruta elegida para el radioenlace UHF Monteverde-Pascuales y al final en el Anexo Fig. 2 un trazo de la ruta sobre un plano topográfico en escala 1:250000.

2.4. FACTOR DE ABULTAMIENTO "K" DE LA TIERRA, ELABORACION DE PERFILES.

En el punto 2.2. habíamos llegado a establecer la manera de como toma lugar la propagación de las ondas radioeléctricas en la banda de UHF. Dicha propagación, se realiza básicamente, en el espacio comprendido entre la superficie de la tierra y la capa más baja de la atmósfera más bien conocida como tropósfera, la misma se extiende hasta unos diez kilómetros de altura.

Las ondas radioeléctricas que viajan horizontalmente (onda espacial directa) en esta zona de la atmósfera (la tropósfera) por fenómenos de refracción normal, siguen una trayectoria que tiene una ligera curvatura descendente, permitiendo que el rayo directo alcance puntos algo más allá del horizonte visible. (ver Fig. 2-4).

La refracción normal de las ondas radioeléctricas en la zona de la tropósfera, se debe a que el índice de refracción disminuye de una manera gradual con el aumento de la altura.

A menudo es conveniente, al tratar los problemas de propagación considerar los rayos (onda troposférica directa) como líneas rectas en lugar de curvas, como son en realidad, y compensar esto empleando un valor aparente para el radio real de la tierra. Dicho "radio aparente" de la tierra que se relaciona con el radio real "Ro" por la fórmula $R = K Ro$, siendo K el factor a determinar en función de las distintas condiciones atmosféricas.

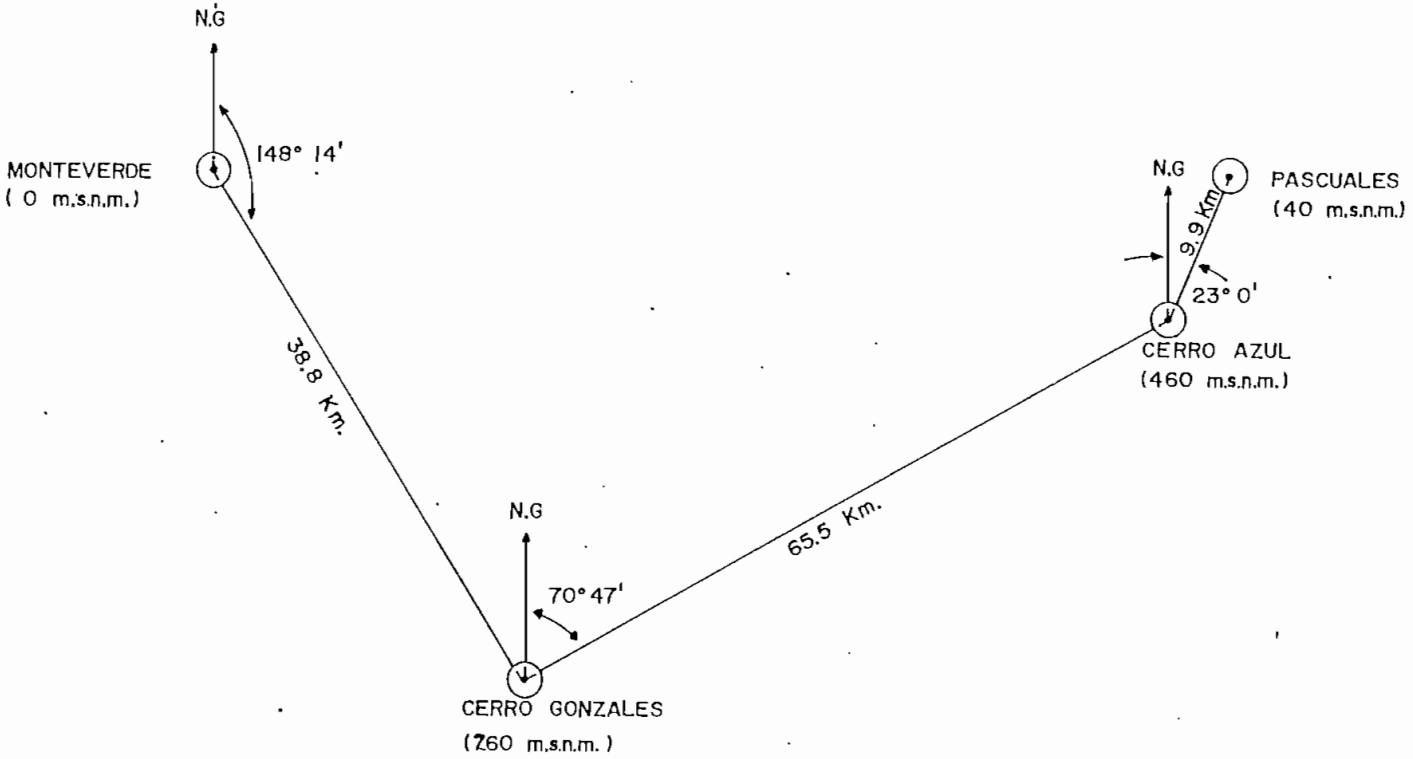


Fig. 2 - 3 Radioenlace UHF Monteverde - Pascuales

Plano de Ruta

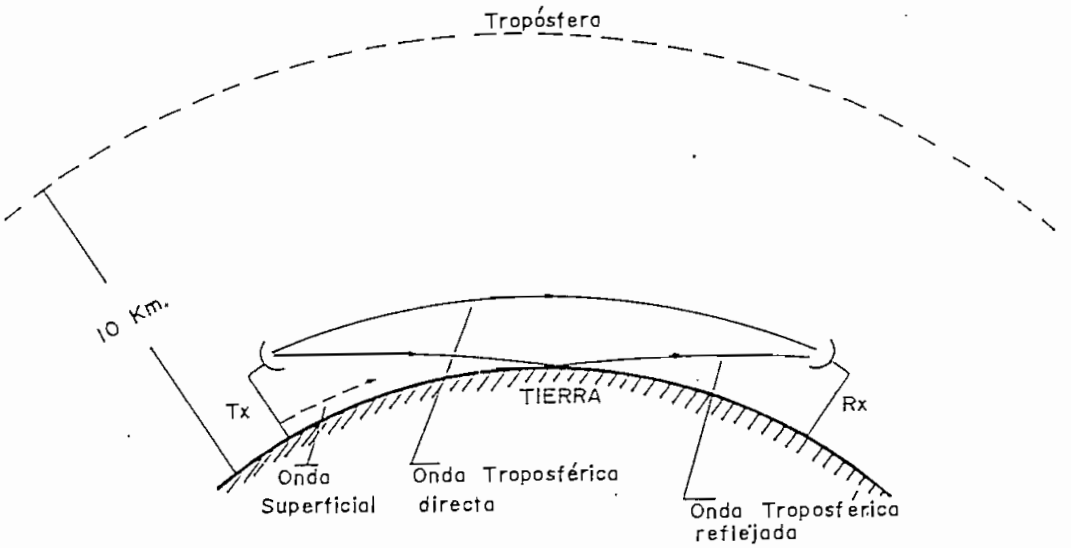


Fig. 2 - 4 Propagación de las Ondas Rodioeléctricas en la Tropósfero en la bando de UHF

El mencionado factor K, depende en proporción inversa al gradiente del índice de refracción, el mismo que como ya se ha dicho dependerá a su vez de las condiciones atmosféricas de la zona donde se precise la propagación de ondas radioeléctricas.

En condiciones de atmósfera standard seca como aquella cuya temperatura disminuye 6.5 grados centígrados por kilómetro, el rango de K va desde 1.2 en áreas elevadas secas, y 4/3 en zonas del interior también secas, en zonas costeras húmedas, este valor va desde 2 a 3. En todos estos casos el rayo se curva ligeramente en forma descendente.

En casos de atmósferas subrefractivas, como suele presentarse en zonas con bruma de agua congelada (neblina), cuando el aire pasa de caliente a frío, el factor K adquiere valores menores que la unidad, un valor conocido es el de 2/3, y en éstas condiciones, el rayo tiende a curvarse en forma ascendente, donde la tierra parece sobresalir e interponerse al haz radioeléctrico.

Valores de K negativos también son posibles k= infinito y valores negativos caracterizan la formación de ductos. Los ductos actúan muchas veces como guiaondas y usualmente se deben a las grandes masas de aire sedimentarias, que hacen que la temperatura aumente con la altura (atmósferas superrefractivas). Esto generalmente ocurre en trayectos sobre el mar.

La Fig. 2-5, visualiza de una mejor manera todos los conceptos antes mencionados.

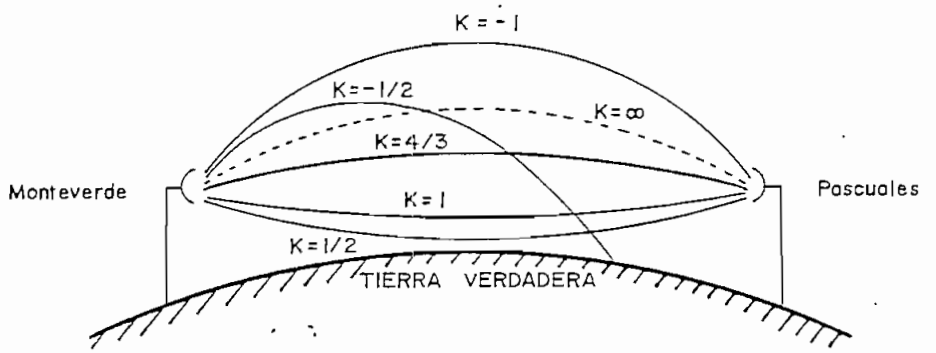


Fig. 2 - 5 Curvamiento del rayo directo en términos del factor K (K=4/3 para radioenlace Monteverde–Pascuales)

Cuando se hizo el trabajo de campo, se pudo constatar que la zona geográfica, que invlucra la ruta del radioenlace, se presta como para elegir un valor adecuado de K = 4/3, pues se trata de una zona relativamente seca, con presencia de una vegetación compuesta en su mayor parte de árboles de baja altura, el terreno es poco accidentado, tampoco plano, el clima es relativamente estable, es decir sin variaciones climáticas bruscas, posee una temperatura promedio de 28 grados centígrados y se nota la presencia de una brisa agradable.

En el caso de trayectos de radio de más de 10 Km., la curvatura de la superficie de la tierra y la refacción atmosférica, deben ser tomadas en cuenta. La protuberancia o convamiento de la tierra viene dado por la siguiente ecuación:

$$h(x) = \frac{4}{51} \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{K} \quad (m) \qquad (2-1)$$

en donde d_1 y d_2 son las distancias en Km. al extremo cercano y al extremo lejano del trayecto respectivamente (Fig. 2-6).

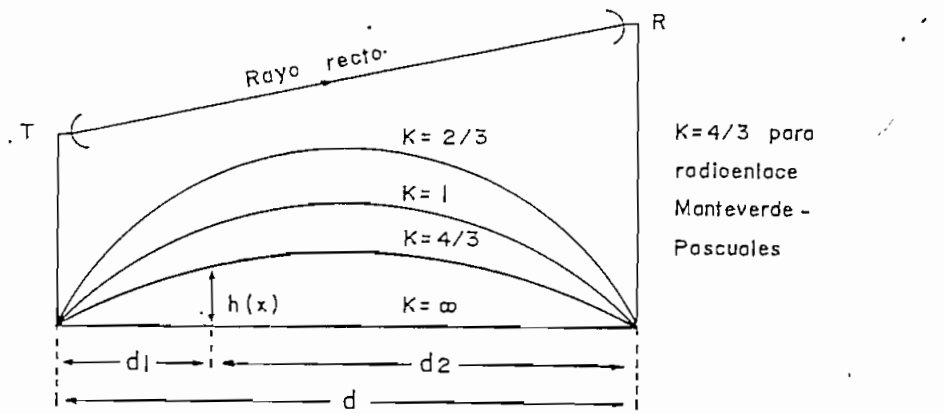


Fig. 2 - 6 Haz recto, Tierra curva.

Con el convamiento de la tierra h(x), se han confeccionado formatos en papel para la graficación directa de los perfiles, para ello. y con la ayuda de los planos topográficos en escala 1:50000, hemos procedido a tabular la ubicación de los puntos más altos y más bajos a lo largo de los diferentes trayectos del radioenlace, (Ver tabla 1 del anexo) y con toda esta información hemos procedido a la graficación de los perfilesde los diferentes tramos como se los muestra al final en Figs. 3-4 y 5 del mismo anexo.

2.5. ZONAS DE FRESNEL, CALCULO PARA GRAFICO SOBRE PEFILES

La noción de zonas de Fresnel es muy útil en las transmisiones radioeléctricas, para las cuales un trayecto sin obstáculos, o con ellos, tiene una influencia determinante. El margen sobre obstáculos se calcula con relación al radio de la primera zona de Fresnel.

La primera zona de Fresnel, es una elipsoide de revolución, cuyos puntos focales están en los extremos del tramo donde se ubican las antenas.

La Fig. 2-7 ilustra una antena trasmisora T que emite energía que se desplaza a partir de la fuente en un frente de onda en expansión. El principio de Huygens - Fresnel establece que cada elemento de este frente de onda primario actúa como una nueva fuente de radiación, emitiendo un frente de onda secundario, por ejemplo P', P'', etc.

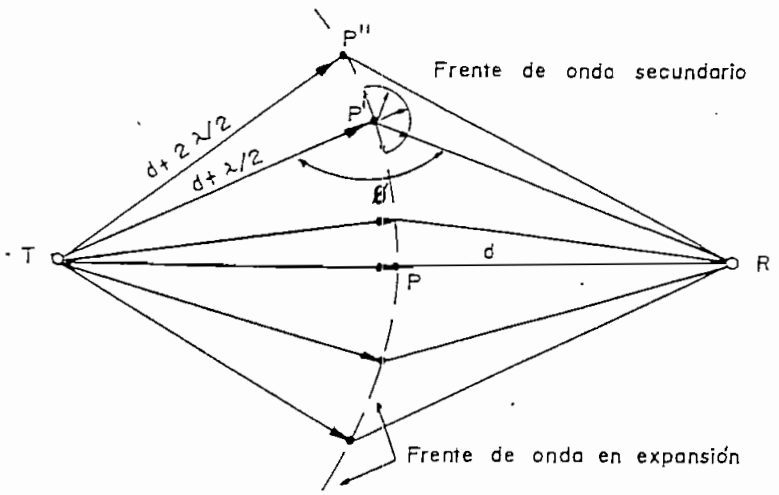


Fig. 2-7 Principio de Huygens - Fresnel referente a la formación de los frentes de onda.

Las radiaciones secundarias de todos los elementos se suman, formando un nuevo frente de onda, y a su vez, cada uno de los elementos de éste emiten nuevas radiaciones. Esta configuración se repite indefinidamente de modo que la intensidad de campo en el receptor R es el vector suma de la infinidad de pequeñísimas ondas creadas por la antena transmisora.

En P'. sólo una parte del nuevo frente de onda llegará al receptor, según la distancia a la antena transmisora y el ángulo Ø. Para el trayecto más corto "d" entre T y R el ángulo Ø es 180°, pero para cualquier otro trayecto Ø estará entre 0 y 180°. Para cualquier punto como P', el coseno de Ø es una medida que define la magnitud del componente que llega al receptor. Es obvio que la pequeña onda del P'' aporta menos que la de P' a la señal en R.

Volviendo al punto P', es evidente que la energía que se desplaza por este trayecto llegará a R después que la que se desplaza -

por el trayecto más corto d. Si el trayecto por P' es media longitud de onda ($\lambda/2$) más largo que d, la diferencia de fase será de 180 grados y las señales se anularán mútuamente. Si la diferencia entre trayectos aumenta a una longitud de onda (λ), la señal que llega por este trayecto se sumará en fase a la señal directa.

La Fig. 2-8 ilustra otra vista del mismo trayecto radioeléctrico. Como antes el punto P' define el trayecto indirecto cuya longitud adicional es de media longitud de onda. Si P' se desplaza por la circunferencia del círculo inferior de la Fig. 2-8, definirá todos los trayectos posibles de longitud igual a d + $\lambda/2$. Este círculo interior se denomina primera zona de Fresnel y su radio F_1 está dado por:

$$F_1 = 548 \sqrt{\frac{d1\ d2}{f\ d}} \qquad (m) \qquad (2\text{-}2)$$

en donde: d1, d2 y d (= d1 + d2) en Km. (Ver figura 2-9)

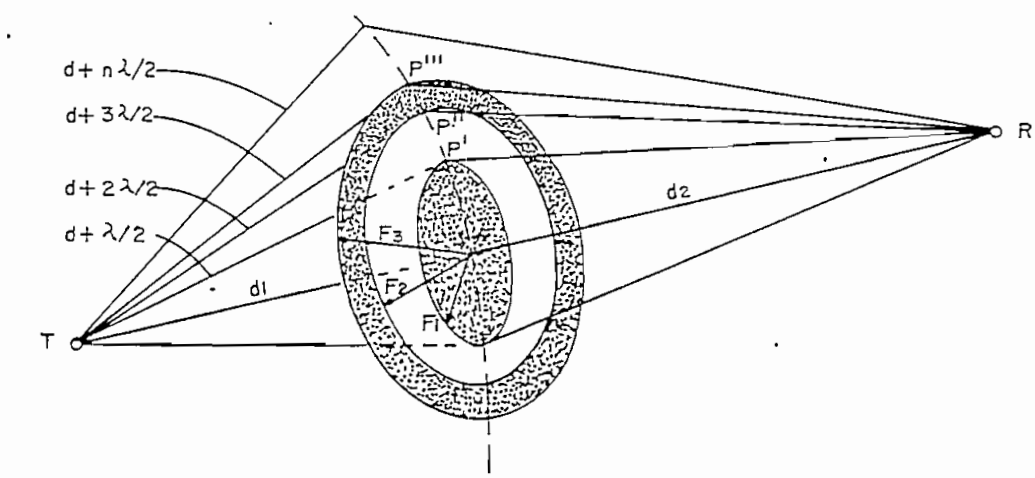


Fig. 2-8 Sección Transversal del trayecto radioeléctrico que muestra las zonas de Fresnel

Para encontrar el radio de otras zonas de Frensel se acude al uso de la ecuación:

$$Fn = F_1 \sqrt{n} \qquad (m) \qquad (2\text{-}3)$$

por ejemplo el radio de la segunda zona de Fresnel valdrá:

$$F_2 = F_1 \cdot \sqrt{2} \quad (m)$$

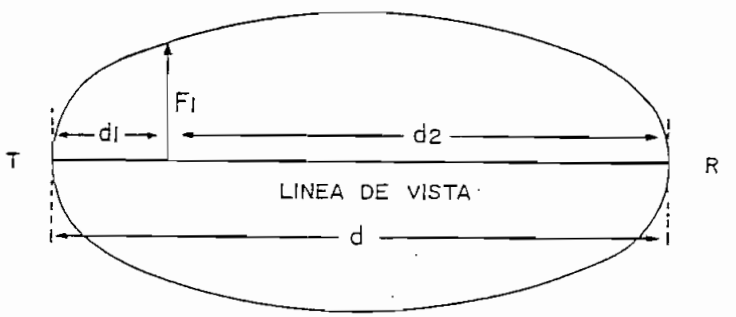


Fig. 2 - 9 Graficación de la 1ª Zona de Fresnel.

Volviendo a la figura 2-8, la superficie de cada uno de los anillos es aproximadamente igual a la del anillo adyacente. La aportación de cada zona a la intensidad de campo en R es proporcional a la superficie de la zona y a su factor de oblicuidad (cos Ø), e inversamente proporcional a la distancia del trayecto.

Como la superficie es casi la misma para todas las zonas, las contribuciones en R de dos zonas adyacentes cualesquiera tenderán a anularse, debido a la diferencia de fase. Sinembargo, a causa del factor de oblicuidad, la contribución de las zonas de mayor orden es progresivamente menor. Esto hace que la intensidad de campo total en R. debida a todas las zonas es aproximadamente la mitad de - la debida únicamente a la primera zona.

Por lo tanto, para decir que un trayecto está libre de obstáculos, quiere decir que su primera zona de Fresnel está totalmente despejada de los mismos. Sinembargo cuando apróximadamente 60% de la primera zona de Fresnel queda sin obstáculos no se obtiene una mayor atenuación adicional.

Utilizando la ec. 2-2-, y trabajando con un valor adecuado (dentro del rango de frecuencia elegido), de f= 450 MHz, se ha elaborado una tabla (referirse al ANEXO Tabla 2), la misma que contiene va

lores del radio de la primera zona de Fresnel a intervalos adecuados a lo largo de cada uno de los tres trayectos que conforman el radio enlace.

Para proceder a graficar la primera zona de Fresnel sobre cada uno de los perfiles ya elaborados, es prescindible primeramente establecer la altura de las torres para la instalación de antenas en los extremos de cada uno de los tres trayectos, y con ésta información entonces sí graficar las elipsoides y tratar que las mismas queden en lo posible libre de obstáculos.

2.6. ALTURA DE TORRES (CLEARANCE) PARA INSTALACION DE ANTENAS

El cálculo de la Clarance (C), permite establecer las alturas mínimas sobre el nivel del suelo a las que deberán colocarse las antenas, utilizando para ello torres de determinadas características.

La fórmula que se utiliza para dicho cálculo, conlleva indirectamente, el criterio de dejar libre de obstáculos la primera zona de Fresnel al menos en su 60% a lo largo de todo el trayecto. Por ello, cuando luego de obtener las alturas de las torres con el cálculo de la Clearence, si éstas adquieren un valor conveniente, nada irreal o inaplicable, inclusive no haría falta graficar las elipsoides, de la primera zona de Fresnel sobre los perfiles.

Sinembargo, cuando éstas alturas de torres, toman valores demasiado grandes como para aplicarlos en la realidad, se procede a asumir alturas de tamaño conveniente, acorde con los medios económicos y físicos con que se cuente. Es entonces, en éste caso cuando se debe graficar las primeras zonas de Fresnel sobre los perfiles y tomar en cuenta el efecto que produce el no dejar libre de obstáculos a estas zonas al menos en un 60% en cualquier punto de todo el trayecto.

2.6.1. Cálculo de la Clearence para los diferentes tramos

El cálculo de la Clearance (C) viene dado por la fórmula:

$$C = 0.6 \sqrt{\lambda \frac{d1 \cdot d2}{d1 + d2} .10^3} + \frac{d1 \cdot d2}{39} \quad (m) \qquad (2-4)$$

en donde: longitud de onda $\lambda = \frac{300}{f\ (MHz)}$ (m) (2-5)

Distancias d1 y d2 en Km.

Los valores de d1 y d2, quedan determinados, ubicando el obstáculo que más esté sobresaliendo y trate de bloquear a la línea de vista a nivel del suelo (ver Fig. 2-10).

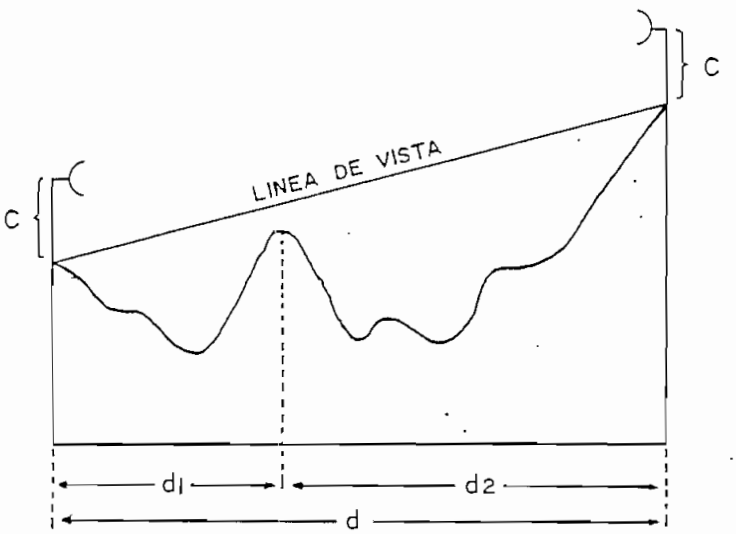


Fig. 2 - 10 Ubicación del peor obstáculo

En nuestro caso, trabajando a la frecuencia de 450 MHz y utilizando la ec. 2-5:

$$\lambda = \frac{300}{450} = 0.6667 \text{ m}$$

- Tramo 1 (Monteverde - Cerro González).

Teniendo a la mano el respectivo perfil, vemos que trazando la línea de vista desde los 2 extremos a nivel de suelo, ésta quedaría obstruida no por uno, sino por varios obstáculos, más para salvar

este incoveniente me veo obligadoaasumir una altura ficticia de 80 metros a nivel del suelo en el extremo de Monteverde, quedando así perfectamente ubicado el peor obstáculo del trayecto en estudio, en cuyo caso se tiene que:

d1 = 14 Km. y d2 = 24.8 Km. y con la ayuda de la ec. 2-4, se encuentra C = 56m. Con el valor de C y la altura ficticia del nivel del suelo de 80 metros, la altura de la torre para Monteverde sería de 56 + 80 = 136 metros, más, considerando disponibilidades económicas y físicas, se ha optado por colocar una torre de 80 m. de altura, la misma que será de tipo soportada.

Así mismo pra Cerro González se ha optado por una torre no de 56 metros, sino de 30 metros de altura.

- Tramo 2 (Cerro González - Cerro Azúl).

Ubicando el peor obstáculo se tiene que:

d1 = 31 km, d 2 = 34.5 Km. y C = 90 m.

Según las características del perfil, será suficiente colocar las antenas a una altura mínima de 30 metros en Cerro González y Cerro Azúl conjuntamente.

- Tramo 3 (Cerro Azúl - Pascuales)

Ubicandc el peor obstáculo se tiene

d1 = 9.25 Km , d2 = 0.65 Km y C = 13 m.

Según características del perfil, y considerando futuras instalaciones en Pascuales, la altura de la torre será de 30 metros en ambos sitios.

Resumen de altura de torres:
Torre en Monteverde H t = 80 m

Torre en C. González	Ht	= 30 m
Torre en C. Azúl	Ht	= 30 m
Torre en Pascuales	Ht	= 30 m

2.6.2. Cálculo de atenuación adicional Az por obstáculos en dB.

Una vez establecida la altura de las torres, las mismas se las ubica en los perfiles y uniendo estos puntos extremos más altos se traza la línea de vista propiamente dicha, y sobre la misma, la elipse de la primera zona de Fresnel para cada uno de los tres tramos.

Como era de esperarse, en éstos gráficos finales se notará que por no haber cumplido con los valores de Clearance encontrados, las elipsoides, se verán afectadas por la presencia de obstáculos. Es entonces cuando se procede a calcular, la atenuación, adicional por la presencia de obstáculos, en base a gráficos, dependiendo de como se presente el caso.

En la Fig. 6 del Anexo, muestro un gráfico el cual permite evaluar el valor de la atenuación adicional, cuando el obstáculo se encuentra en medio del trayecto. La Fig. 7 sirve cuando el obstáculo se ubica en cualquier sitio que no sea el intermedio.

En ambas figuras, el parámetro Δh, es la distancia vertical entre la línea de vista y el punto más elevado del obstáculo, Δh será positivo cuando la línea de vista exista, pero la primera zona de Fresnel se encuentre obstruida. Δh será negativo cuando línea de vista y por ende primera zona de Fresnel está bloqueadas por el obstáculo. (ver Fig. 2-11 a y b).

En el caso nuestro y observando los tres perfiles, vemos que el tramo No. 1 Monteverde -Cerro González, presenta este tipo de atenuación adicional, los otros dos tramos no. El tramo 2 por tener su primera zona de Fresnel totalmente libre de obstáculos y el tramo 3 por poseer una distancia de apenas 9.9 km., la pequeña obstrucción cercá de Pascuales prácticamente no influye.

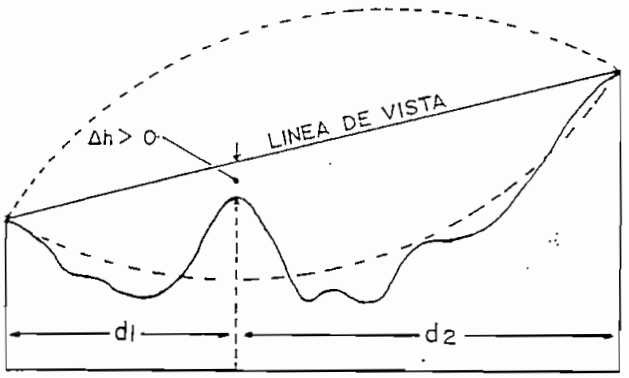


Fig. 2 - IIa Línea de vista clara, 1ra zona obstruida ,

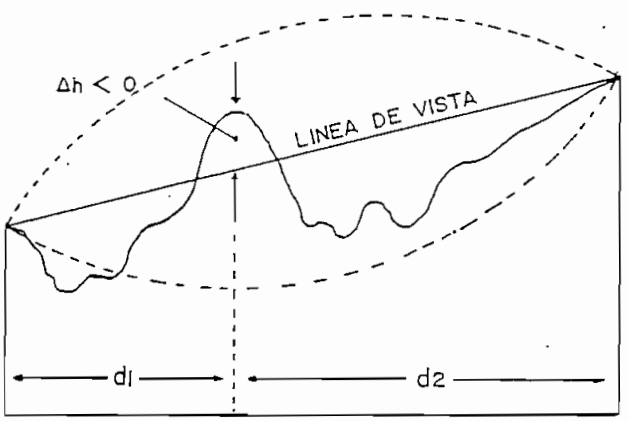


Fig. 2 - IIb Línea de vista y 1ra zona obstruida

Utilizando la Fig. 7-b del Anexo, ubicamos las distancias d1 y d2 tomadas del perfil correspondiente al tramo 1 Monteverde - C. - Gonzáles, tales distancias son:

d1 = 14 Km. y d2 = 24.8 Km; además,

Δh = + 16 m., encuentro que:

primeramente ubicando la distancia d1 y el valor de Δh, interpolando se ve que:

Az1 = 5 dB

igualmente con d2 y Δh cuentro que:

Az2 = 5 dB

por lo que la atenuación adicional Az vale:

Az = Az1 + Az2 = 10 dB.

Debido a que hemos empezado a incursionar, en términos de atenuación de la señal que viaja hacia el receptor, es momento de dar una idea general, de a donde queremos llegar con todos estos cálculos.

El objetivo es determinar la potencia de los transmisores y la ganancia de las antenas en cada uno de los tramos, de manera de tener una comunicación telefónica lo más fiel posible, sin la presencia de ruidos molestosos, y de una alta confiabilidad en la comunicación.

Suponiendo que la señal sale del transmisor, con una determinada potencia inicial, ésta al viajar desde el sitio de los equipos hasta la antena a través de cable coaxial, se verá atenuado en una determina cantidad, dependiendo de la longitud y calidad del cable. Al llegar a la antena trasmisora, la señal se ve aumentada, y lista para ser radiada al otro extremo donde se ubica la antena receptora.

Al salir la señal de la antena transmisora, viaja a través de la tropósfera, en forma de onda espacial directa (suponiendo que la onda reflejada es mínima), la misma que dependiendo de la frecuencia y la distancia que recorra sufrirá una atenuación, es aquí donde también interviene la atenuación adicional por obstáculos que ya hemos calculado.

Llegando la señal a la antena receptora, esta se ve aumentada, para luego volverse a atenuar en el recorrido hasta el sitio donde se encuentre el receptor, a través del cable coaxial, para por último llegar al receptor, momento en el cual la señal es reconstruida y lista para ser escuchada, o tratada en el caso de información de datos.

La Fig. 2-12 ilustra todos estos aumentos y atenuaciones de la señal.

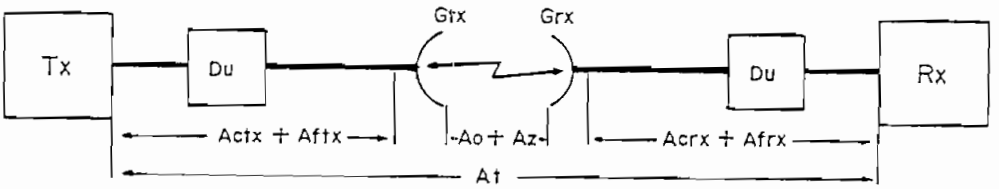


Fig. 2 - 12 Perdidas del Trayecto At.

Ao : Pérdidas por espacio libre
Az : Atenuación adicional por obstáculos
Actx,Acrx : Pérdidas en cables coaxiales (transmisión, recepción)
Aftx,Afrx : Pérdidas en filtros separadores (duplexor).
G tx,Grx : Ganancia de antenas (transmisión y recpeción).

2.6.3. Pérdidas en cables coaxiales Ac en dB.

En el capítulo 4, punto 4.3., se podrá revisar que el cable coaxial 7/8 de pulgada, con aislado de semi-aire, a la frecuencia de - 450 Mhz posee una atenuación promedio de 3.0 dB por cada 100 metros.

Como sabemos en Monteverde donde se cuenta con una torre de 80 metros, la longitud de cable a emplearse será la de la torre,más la distancia desde la base de la torre hasta el edificio de control donde se encuentran los equipos de radio, esta distancia se ha previsto de unos 40 metros aproximadamente, por lo que la longitud total de cable es de 120 metros con una atenuación total de:

$$120 \text{ m.} \frac{3.0 \text{ dB}}{100 \text{ m.}} = 3.6 \text{ dB}$$

En el resto de lugares esto es C. González, C. Azúl y Pascuales, la altura de la torre es de 30 metros y desde la base de las mismas hasta el edificio de control una distancia de 20 metros, da una longitud total de 50 metros, por lo que la atenuación total será:

$$50 \text{ m.} \frac{3.0 \text{ dB}}{100 \text{ m.}} = 1.5 \text{ dB}$$

En conclusión la pérdida por cable, tanto en el lado de transmisión como en el de recepción será:

- Tramo 1 : Ac = A ctx + Acrx = 3.6 + 1.5 = 5.1 dB.
- Tramo 2 : Ac = 1.5 + 1.5 = 3.0 dB.
- Tramo 3 : Ac = 1.5 + 1.5 = 3.0 dB.

2.6.4. Pérdidas en filtros separadores (Filtroduplexor) Af en dB

Ya que la señal se transmite a una frecuencia f1, y se recepta a una frecuencia f2, en modo Semiduplex, utilizando para ello una - sola antena. El elemento que permite enrutar adecuadamente estas dosseñales desde el transmisor y/o hacia el receptor, hacia una misma antena es el Filtroduplexer, permitiendo de esta manera una comunicación del tipo duplex.

Todo filtro como bien se sabe, por poseer respuestas de frecuencia, que no son ideales, siempre producirán las llamadas pérdidas de inserción, dichas pérdidas alcanzan valores menores a 1.2 dB (420-470 MHz), tanto en transmisión como en recepción. (revisar capítulo 4, punto 4.1.).

Hay que añadir a estas pérdidas de inserción la atenuación que producen los circuladores, cuando el sistema de radio va a ser "Redundante", dichas pérdidas alcanzan valores de hasta 0.8 dB tanto para Tx como Rx. Por tanto:

Af = 1.2 + 0.8 + 1.2 + 0.8 = 4.0dB, para los 3 tramos.

2.6.5. Pérdidas por espacio libre Ao en dB.

Las pérdidas por espacio libre, se refiere a períodos en que no se produzcan desvanecimientos, causados por cambios atmosféricos y reflexiones de la señal sea sobre agua o tierra a lo largo del trayecto. Estas condiciones ya fueron expuestas en el punto 2.4 cuando hablamos de atmósferas sobre y subrefractivas.

Además estas pérdidas, por espacio libre, suponen la primera zona de Fresnel libre de obstáculos. A pesar de ello la ecuación que calcula el valor de estas pérdidas, a lo mucho sufre una desviación de $\pm$ 3dB. aproximadamente.

La siguiente fórmula, calcula el valor de la atenuación por espacio libre, para frecuencias bajo los 500 MHz, donde dichos valores están referidos al dipolo de media longitud de onda, más no al radiador isotrópico.

$$Ao = 28.1 + 20 \log. d.f. \quad (dB) \qquad (2\text{-}6)$$

en donde: d:distancia del tramo en Km.

f:frecuencia de trabajo en MHz, que para los 3 tramos será f = 450 MHz.

Por lo que aplicando esta fórmula, se llega a encontrar que para:

- Tramo 1 (d = 38.8 Km) Ao = 112.94 dB
- Tramo 2 (d = 65.5 Km) Ao = 117.49 dB
- Tramo 3 (d = 9.9 Km) Ao = 101.08 dB

2.6.6. Atenuación neta del trayecto at en dB.

Tal atenuación considera, todo lo que hace que la señal se atenúe a lo largo del trayecto de cada tramo, más no lo que cause aumento, como es el caso de la ganancia de las antenas trnsmisora y receptora. Por tanto:

$$at = Ac + Af + Ao + Az \quad (dB) \qquad (2\text{-}7)$$

- Tramo 1 : at = 5.1 + 4.0 + 112.94 + 10.0 = 132.0 dB
- Tramo 2 : at = 3.0 + 4.0 + 117.49 + 0.0 = 124.5 dB
- Tramo 3 : at = 3.0 + 4.0 + 101.08 + 0.0 = 108.0 dB

Valores encontrados, habiendo reemplazado en la ec. 2-7 los re

sultados obtenidos en los puntos 2.6.2 a 2.6.5.

2.7. CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE RADIOENLACE.

El primer aspecto de la confiabilidad toma encuenta la capacidad técnica que tiene el equipo para permanecer en servicio por largos períodos con el mínimo de atención en su mantenimiento. El otro aspecto de la confiabilidad, y la que nos interesa, es la confiabilidad en la transmisión. Esta es una medida que involucra el diseño de ingeniería, características de propagación y el dimensionamiento del equipo para que éste pueda enfrentar condiciones adversas en la transmisión.

Uno de los principales factores que influyen en la confiabilidad, es el desvanecimiento (FADING), causado por cambios en las características de propagación. Algunas clases de fading, pueden reducir la señal unos pocos decibelios, otros logran degradar la señal en 40 dB ómás. Las características de desvanecimiento varían de lugar en lugar y de tiempo en tiempo.

. El sistema de radioenlace, tiene que ser diseñado, para operar con un cierto margen de seguridad, y mantener una fuerte señal en el lado del receptor, cuando éstos períodos de desvanecimiento se presenten. Esto hace necesario, escoger recpetores de alta sencibilidad transmisores de adecuada potencia, longitudes de trayectos y ganancias de antenas capaces de brindar una adecuada recepción de la señal, con el mínimo de ruido (alta relación señal a ruido S/R) bajo condiciones de severo desvanecimiento.

Casi todos los desvanecimientos ocurren en diferentes formas, sólo dos clases tienen mucha importancia en transmisiones de microondas. Estos son fading por multitrayecto y fading por ductos.

Fading por Multitrayecto, se presenta cuando el índice de refracción no varía de una manera uniforme a lo largo de todo el trayecto, es decir la admósfera se comporta de una manera muy irregu -

lar. Esto hace: que dos o más componentes separadas de la transmisión original puedan arrivar a la antena receptora con cierto de fasaje, debido a la diferencia de longitudes de los distintos trayectos por los que la señal viaja, provocando generalmente una degradación de la misma.

Los ductos, se forman en sectores de la tropósfera, donde se produce inversiones en la temperatura o la humedad, haciendo que la señal aleatoriamente sea guiada como el caso de un guiaonda, hacia lugares fuera del espacio de la antena receptora. Las Figs. 2-13 y 2-14 dan una idea de estos dos tipos de desvanecimiento.

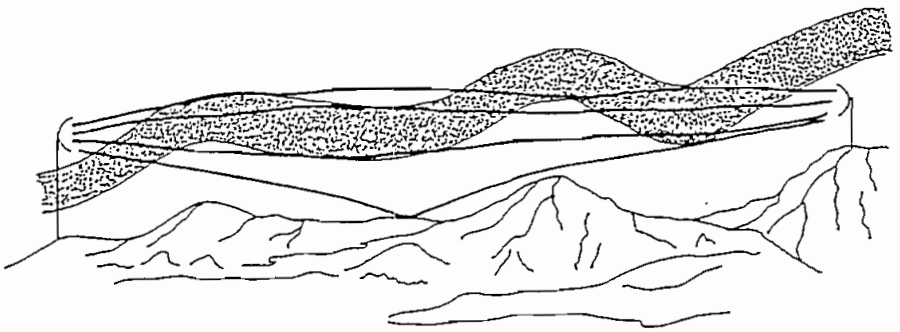


Fig. 2 - 13 Desvanecimiento por Multitrayectos

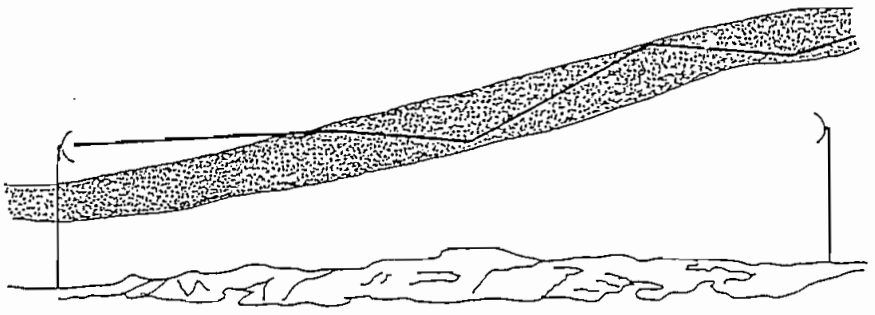


Fig: 2 - 14 Desvanecimiento por Ductos

Se ha desarrollado fórmulas para calcular la probabilidad de falla para un trayecto de microonda, como una función de condicio - nes y parámetros pertinentes. Estos métodos están basados en resul tados experimentales y teóricos, publicados por W.T Barnett y por Arvids Vigants.

El trabajo de Barnett, está encaminado a calcular el fallo de comunicación para un trayecto sin diversidad como una función del terreno, clima, frecuencia, longitud del trayecto y el margen de des vanecimiento.

En base a un rendimiento, expresado en porcentaje, que se quie ra que posee el sistema de comunicación, se pueden calcular las pro babilidades de falla y no falla del sistema. Por ejemplo, suponga- mos que queramos un rendimiento (Rto) de 99.9 % , la probabilidad de "no falla" (A) será:

$$A = \frac{Rto}{100} = \frac{99.9}{100} = 0.999 \qquad (2\text{-}8)$$

y la probabilidad de "falla" (Undp):

$$Undp = 1 - A = 1 - 0.999 = 1.10^{-3} \qquad (2 - 9)$$

A continuación presento una tabla (Tabla 2-1) donde se encuentran algunos valores para Rto, A, U, y el tiempo anual de falla del sistema.

Tabla 2-1 Confiabilidad de un sistema punto a punto

Rto (%)	A	Undp	Falla anual
99.9	0.999	$1x10^{-3}$	525 minutos
99.99	0.9999	$1x10^{-4}$	52.5 minutos
99.999	0.99999	$1x10^{-5}$	5.25 minutos
99.9999	0.999999	$1x10^{-6}$	0.525 minutos

Para nuestro sistema en diseño, eligiremos un Rendimiento de

99.99% y por tanto una probabilidad de falla, para sistemas sin diversidad de:

$$Undp = 1 \times 10^{-4}$$

La fórmula que calcula el valor de la probabilidad de falla del sistema de radio, para un determinado margen de seguridad para el desvanecimiento (FADE MARGIN) viene dada por la siguiente ecuación:

$$Undp = a.b.3.10^{-7}. f^{1.5}. d^{3}. 10^{F/10} \qquad (2\text{-}10)$$

en donde:
- F = Margen de desvanecimiento en dB
- f = frecuencia de trabajo en GHz.
- d = distancia del tramo en Km.
- a = 4 : terreno muy plano, incluso agua.
  - 1 : terreno con algunas irregularidades
  - 1/4: terreno montañoso y seco
- b = 1/2: áreas húmedas y calientes como la costa
  - 1/4: zonas interiores templadas
  - 1/8: zonas montañosas frías y secas

Debido a que en nuestro diseño, nos hemos impuesto un rendimiento y probabilidad de falla Undp de 1.10^{-4} de la ec. 2-10, podríamos despejar y conocer el valor del margen de desvanecimiento F (FADE MARGIN), el mismo que nos ayudará justamente a dimensionar adecuadamente la potencia en los transmisores y las ganancias de antenas necesarias, para garantizar un buen funcionamiento y confiabilidad del sistema de comunicación en diseño.

$$F = 10 \log. \frac{a.b.3.10^{-7}. f^{1.5} . d^{3}}{Undp.} \quad (dB) \qquad (2\text{-}11)$$

F = Margen de desvanecimiento (FADE MARGIN) en dB.

2.8. CALCULO DEL VALOR DEL MARGEN DE DESVANECIMIENTO (FADE MARGIN F)

Refiriéndonos a los parámetros que involucra la ec. 2-11, para el cálculo del margen de desvanecimiento, estableceremos valores a todos aquellos comunes a los 3 tramos:

Undp = 1.10^{-4} (rendimiento de 99.99%)
f = 450 MHz = 0.45 GHz
a = 1 (terreno con ciertas irregularidades)
b = 1/2 (zona caliente algo húmedo)

Que aplicando a la fórmula 2-11:

$F = 10 \log.\left[\frac{a.b.3.10^{-7}.f^{1.5}.d^{3}}{Undp}\right]$ (dB), encuentra los siguientes valores para el margen de desvanecimiento F.

- Tramo 1 (d = 38.8 Km.), encuentro con la ayuda de la ec. 2-11 - F = 14.22 dB. Para obtener un rendimiento mayor que - 99.99%, escojo : F = 20 dB

- Tramo 2 (d = 65.5 Km.), encuentro que F = 21.04 dB. Para obtener un mayor rendimiento escojo : F = 25 dB.

- Tramo 3 (d = 9.9 Km), encuentro que: F = -3.51 dB. El signo negativo, lo que me dice, es que este tramo por ser tan corto, no es probable que sufra desvanecimiento pero para mayor seguridad escojo un valor para el mismo de : F = 10 dB.

En el punto 2.6.6., habíamos llegado a establecer, la pérdida neta que sufre la señal desde que sale del transmisor, hasta cuando llega al receptor, hasta allí sin considerar atenuación por desvanecimiento. Ahora que ya conocemos cuanto más puede atenuarse - la señal por causa de desvanecimiento, cuando la señal está recorriendo el espacio entre antenas tanto transmisora como receptora, estamos casi listos para ver que potencia darle al transmisor y que ganancia a lasantenas.

2.8.1. Umbral de Receptor Urx en dBm.

El receptor, dependiendo de la tecnología que se emplee en su construcción, será capaz de recibir señales tan débiles, cuanto mejor sea la calidad en su construcción. La medida que valora dicha sensibilidad para captar señales débiles, se denomina el Umbral del receptor.

Cuando el nivel de potencia de la señal que llega al receptor, iguala al nivel del Umbral del mismo, la relación señal a ruido, es igual a cero, esto quiere decir que el ruido y la señal se encuentran a un mismo nivel de potencia, es entonces cuando decimos que la señal se ha silenciado o simplemente es una señal donde la inteligebilidad de la información, adquiere su mínimo valor.

En el capítulo que trata las Especificaciones Técnicas del equipo de radio, se podrá ver que valores típios del Umbral, están por el orden de los -98 dBm. Para reducir estos niveles, en la práctica se busca reducir el valor de la Figura de Ruido en las primeras etapas de amplificación de radio frecuencia en el receptor.

Para dar un cierto margen de seguridad, usaremos un Umbral -90 dBm, o sea un receptor menos sensible que el de -98 dBm. Valor de umbral igual para los tres tramos.

En tales circunstancias, el mínimo valor del nivel de la señal que llegue al receptor, no deberá ser menor que el nivel del Umbral (datos del fabricante).

2.9. ESTIMACION DE LA POTENCIA DE LOS TRANSMISORES Y CALCULO DE GANANCIA DE ANTENAS.

El transmisor y las antenas, son los únicos elementos que hacen que la señal aumente a su nivel, por tanto éstos serán los responsables de que la señal no llegue al nivel del Umbral del receptor, a causa de las pérdidas neta del trayecto "at" calculada en el punto 2.6.6 y el desvanecimiento (FADE MARGIN F) calculado en el punto 2.8. Lo expresado anteriormente en forma de ecuación, queda así:

$$Ptx + Gant - at - F > Urx \qquad (2\text{-}12)$$

en donde : Ptx = potencia del transmisor en dBm.

Gant = ganancia de antena de transmisión más ganancia de antena de recepción expresado en dB.

at = atenuación neta del trayecto en dB.

F = margen de desvanecimiento en dB.

Urx = umbral del receptor en dBm.

El rango para estimar las ganancias de las antenas es demasiado amplio comparado con el rango depotencias de los transmisores, por lo que asumiremos un valor (con criterio) de la potencia de éstos últimospara de la ec. 2-12 despejar el valor de ganancia de antenas, que es lo único que quedaría por conocer.

Por experiencia, se conoce que los fabricantes ponen a disposición equipos de radio en UHF, con potencias que van desde los 5 watios, hasta los 25 watios normalmente. Y un valor muy adecuado para el rango de frecuencia en que estamos trabajando, es el de 10 watios, potencia de los transmisores que se usarán en los tres trayectos de nuestro radioenlace.

Estas potencias de 10 watios, expresado en dBm. será:

$$Ptx\ (dBm) = 10 \log. \frac{Ptx\ (w) \cdot 10^{+3}\ mw}{1\ mw} \qquad (2\text{-}13)$$

$$= 10 \log. \frac{10.10^{+3}\ mw}{1.\ mw}$$

$$Ptx = 40\ dBm.$$

Despejando de la ec. 2-12 el valor de ganancia de antenas Gant, ésta queda:

$$Gant > Urx + at + F - Ptx\ (db) \qquad (2\text{-}14)$$

y reemplazando los valores de at y F para cada tramo , además Urx = - 90 dBm, se tiene que para:

1. Tramo 1 (a t = 132.0 dB y F = 20 dB).

Gant $>$ - 90 + 132.0 + 20 - 40 dB

Gant $>$ 22.0 dB

Estos valores de ganancia, relativamente bajos en sistemas punto a punto, hace que nos decidamos a utilizar la manual antena YAGI de por lo menos 24 elementos, con una ganacia standar de 16 dB, tanto para transmisión como para recepción, por tanto:

$Gant = G_{tx} + G_{rx} = 16 + 16 = 32$ dB $>$ 22.0 dB.

en donde: G_{tx} = ganancia de antena transmisora en dB

G_{rx} = ganancia de antena receptora en dB.

- Tramo 2 (a t = 124.5 dB y F = 25 dB)

Gant $>$ - 90 + 124.5 + 25 - 40 dB

Gant $>$ 19.5 dB

escogeremos un valor standard también de 16 dB de ganancia para las antenas de transmisión y recepción por tanto Gant = 32dB $>$ 19.5dB.

- Tramo 3 (a t = 108.0 dB y F = 10 dB)

Gant $>$ -90 + 108.0 + 10 -40 dB

Gant $>$ -12 dB

el valor negativo nos dice, que suficiente sería colocar antenas directivas de ganancia unitaria, para establecer comunicación en este tramo tan corto. Pero por cuestiones de ruido, pondremos antenas de 9 dB de ganancia tanto en transmisión como recepción.

Por tanto Gant = 18 dB . $>$ -12.0 dB

2.9.1. Cálculo de la atenuación del trayecto At en dB.

La atenuación del trayecto, considera las pérdidas netas del trayecto a t y la ganancia de antenas Gant. mediante la siguiente - fórmula:

$$At = at - Gant \quad (dB) \qquad (2\text{-}15.a)$$

en donde: $at = Ac + Af + Ao + Az \quad (dB)$

por tanto : $At = (Ac + Af \pm Ao + Az) - Gant \qquad (2\text{-}15.b)$

- Tramo 1

  $At = 132.0 - 32 = 100.0$ dB

- Tramo 2

  $At = 124.5 - 32 = 92.5$ dB

- Tramo 3

  $At = 108.0 - 18 = 90$ dB

2.10. CALCULO DE NIVELES DE RECEPCION Nrx , y RELACION SEÑAL A RUIDO S/R (INCLUYE VALOR DEL SISTEMA SV).

En el punto 2.9, en un comienzo llegamos a encontrar el valor mínimo de la ganancia de las antenas, de tal manera que a pesar de que la señal sufra un desvanecimiento profundo (FADE MARGIN), ésta pueda llegar al receptor sin sobrepasar el nivel de umbral del mismo. Pero como es obvio, a tal punto no se puede llegar, por ello, al valor mínimo de dichas ganancias se las sobredimensionó, dándoles valores más altos de ganancia.

Esta situación de haber aumentado las ganancias de las antenas, por más que la señal sufra un total desvanecimiento, el nivel de la señal, esta vez, se ubicará por encima del valor del umbral, dando lugar a una buena recpeción de la misma y con un alto valor de relación señal a ruido S/R. Con este antecedente procederá a valorar estos niveles de recepción para cada uno de los tramos, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Nivel de recepción } Nrx = Ptx - At \quad (dBm) \qquad (2\text{-}16)$$

en donde : Ptx = potencia del transmisor en dBm.

At = atenuación del trayecto en dB.

En el punto 2.9 estimamos una potencia para todos los transmisores de 10 watios o sea Ptx = 40 dBm., con este valor y con los resultados del punto 2.9.1 para At, calcularemos estos niveles de recepción así:

- Tramo 1 Nrx = 40 - 100 dBm
  Nrx = -60.0 dBm.

- Tramo 2 Nrx = 40 -92.5 dBm.
  Nrx = -52.5 dBm.

- Tramo 3 Nrx = 40 -90 dBm.
  Nrx = -50.0 dBm.

2.10.1. Cálculo de la relación señal a ruido (S/R) en dBm.

El valor de la relación señal a ruido, se lo calcula utilizando la siguiente fórmula:

Relación señal a ruido S/R = Sv - At (dBm). (2-17)
en donde: At = atenuación del trayecto en dB.

El valor del Sistema Sv, es un dato que da a concoer el fabricante de los equipos. Dicho valor, al igual que el umbral del receptor, depende exclusivamente de la calidad de construcción del equipo el mismo depende básicamente de la potencia del transmisor, de la capacidad de canales (ancho de banda) y de la figura de ruido del receptor.

En el capítulo de especificaciones técnicas, se ve que un valor adecuado es el de Sv = 173 dB, por lo que trabajando con este y los valores de At calculados en el punto 2.9.1 se tiene que:

- Tramo 1
  S/R = 173 - 100.0 dBm.
  S/R = 73.0 dBm.

- Tramo 2 S/R = 173 - 92.5 dBm.
  S/R = 80.5 dBm.

- Tramo 3 S/R = 173 - 90.0 dBm.
  S/R = 83.0 dBm.

2.10.2. Potencia de ruido térmico a la entrada del receptor Prx en pw.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia de ruido Prx} = \log.^{-1}\left[\frac{90 - S/R}{10}\right] \quad (pw) \qquad (2\text{-}18)$$

que reemplazando los valores de S/R para los diferentes tramos encontrados en el punto 2.10.1 se tiene que:

- Tramo 1 (S/R = 73.0 dBm.).
  Prx = 51 pw.

- Tramo 2 (S/R = 80.5 dBm)
  Prx = 9 pw.

- Tramo 3 (S/R = 83 dBm)
  Prx = 5 pw.

Sumando estos tres resultados, se tiene que la potencia de ruido térmico total a la entrada del receptor es:

Potencia ruido térmico total Ptxt = 65 pw.

A esta potencia de ruido térmico total, se la denomina, RUIDO DEPENDIENTE DE LAS PERDIDAS DEL TRAYECTO, en tiempos sin desvaneci - miento, justamente porque la ecuación que calcula el valor de la relación señal a ruido, involucra al valor de las pérdidas por trayecto At, y además no estamos considerando que la señal se degrade por causa de desvanecimiento.

Además de este ruido dependiente, existe otro tipo de ruido, denominado RUIDO INDEPENDIENTE DE LAS PERDIDAS POR TRAYECTO, en el mismo se incluyen principalmente los ruidos por intermodulación y los ruidos básicos.

Al ruido básico o intrinseco, generalmente lo generan los componentes activos de los equipos (Kliystron, transistores o varactores), también contribuyen con este ruido un filtraje pobre en las fuentes de alimentación.

El ruido de intermodulación, se debe principalmente a las no linealidades de los dispositivos electrónicos, a la formación de armónicos y por tanto deformaciones de la señal a la salida de los mismos. La no linealidad en el modulador, amplificadores sobrecargados, truncamiento del espectro en discriminador y filtros de RF, - distorción de fase, distorción de amplitud, etc., serán causa para la producción de este tipo de ruido

Respecto de los ruidos dependientes o independientes de las pérdidas por trayecto, el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radio), ha tomado este aspecto en cuenta, y ha planificado establecer ciertos objetivos de ruido, imponiendo de cierta manera límites que no se deberán exceder en lo posible, la cantidad de ruido total que posea un determinado diseño de radioenlace. De esta manera, se estará ayudando al diseñador para que el mismo realice trabajos que - brinden la mayor calidad en la transmisión de la información.

En conformidad, el CCIR, según la Recomendación 395-1, Oslo - 1966, Vol. IV, los siguientes valores de ruido no deberán ser excedidos en los circuitos de radioenlace de longitud "L" que se encuentre en el rango de 50 Km. $<$ L $<$ 840 Km.:

- $3 \frac{L(Km)}{Km.}$ pw + 200 pw (2-19)

  potencia de ruido en cualquier hora del año

- $3 \frac{L\ (Km)}{Km.}$ pw + 200 pw un minuto del valor promedio de la potencia de ruido en más del 20% del tiempo de cualquier mes.

- 47.500 pw, un minuto del valor de la potencia promedio en más que (280 Km/2500 Km) x 0.1% del tiempo de cualquier mes, si L $<$ 280Km

o en más que (L/2500 Km) x 0.1% del tiempo de cualquier mes, si $L > 280$ Km.

En donde L en nuestro radioenlace es:

L = distancia tramo 1 + dist. tramo 2 + dist. tramo 3

L = 38.8 + 65.5 + 9.9 Km.

L = 114.2 Km , valor que reemplazado en la ec. 2-19 da un valor para la potencia de ruido total de:

$$3.\ \frac{114.2\ \text{Km.}}{\text{Km.}}\ \text{pw} = 543\ \text{pw.}$$

Ruido total permitido por CCIR = 543 pw.

Este ruido total permitido por el CCIR, no deberá ser excedido por el ruido total de nuestro radioenlace, al mismo que lo conforman el ruido dependiente y el ruido independiente de las pérdidas del trayecto.

Al ruido dependiente ya lo hemos calculado y su resultado se lo encuentra en el punto 2.10.2. Situación semejante se debería hacer con el ruido independiente, más los métodos de cálculo que existen son impracticables, por el ello y basándose en la experiencia, se ha desarrollado un método empírico el mismo que dice:

De el total de la potencia de ruido permitido por el CCIR (543 pw), de un 25% a 35%, se destinará a la potencia de ruido independiente de las pérdidas, y el restante porcentaje al ruido dependiente de las pérdidas. Para nuestro estudio escogeremos un valor de 25% para el ruido independiente y un 75% para el ruido dependiente, pensando en que la tecnología actual da como para conseguir equipos sofisticados, de alta calidad.

De el porcentaje que se haya dedicado al ruido independiente de pérdidas, este se repartirá de la siguiente manera:

- Ruido intermodulación para el equipo de radio 60%

- Ruido básico para equipo de radio 20%
- Ruido intermodulación para equipo de modulación 10%
- Ruido básico para equipo de modulación 10%

Aplicando todas estas recomendaciones al diseño de nuestro radioenlace se tiene que:

- Ruido independiente (25% de 543 pw) 136 pw
- Ruido dependiente (75% de 543 pw) 407 pw

Repartición del ruido independiente:

- Ruido intermod. radio (60% de 136 pw) 82.pw
- Ruido básico radio (20% de 136 pw) 27.pw
- Ruido intermod. modulador (10% de 136 pw) 14.pw
- Ruido básico del modulador (10% de 136 pw) 14.pw

Por lo que acabamos de exponer, vemos que el ruido dependiente puede llegar a valer hasta 407 pw, valor que por el momento supera al valor ya calculado (punto 2.10.2) de 65.o pw.

2.11. CALCULO DE LA POTENCIA DE RUIDO TOTAL DEL RADIOENLACE PARA DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO DE DESVANENCIMIENTO INDICADOS POR EL C.C.I.R.

Para proceder a desarrollar este punto, es conveniente resumir algunos resultados encontrados anteriormente, los mismos son:

Valor del fading F (ver punto 2.8):

- Tramo 1 F = 14.2 dB
- Tramo 2 F = 21 dB
- Tramo 3 F = −3.5 dB

} valores reales, no los sobre dimencionados.

Valor de la relación señal a ruido S/R (ver punto 2.10.1).

- Tramo 1 S/R = 73.0 dBm.

- Tramo 2 : S/R = 80.5 dBm.
- Tramo 3 S/R = 83.0 dBm

Ruido total permitido por C.C.I.R. ($3 \frac{L}{Km.} + 200$ pw):

Ruido dependiente + ruido independiente = 543 pw.

El ruido independiente (25% de 543) = 136 pw.

Por lo tanto el ruido dependiente de pérdidas, que no es más que el ruido térmico total a la entrada del receptor, no deberá superar el valor de:

543 - 136 = 407 pw. . (75% de 543 pw).

2.11.1 Primera recomendación (Hora peor del año)

Esta recomendación dice : al valor de la relación señal a ruido, encontrada en el punto 2.10.1., para períodos sin desvanecimiento, se le reste el valor de 6 dB, para el caso en que se presente este desvanecimiento. Con éstos nuevos valores de S/R, calculamos el valor de la potencia de ruido para cada tramo, y el total de la suma de todos los tramos, no deberá exceder el recomendado por el C.C.I.R., que en nuestro caso es de 407 pw.

- Tramo 1 : S/R = 73 -6
  S/R = 67 dBm.

que reemplazando este nuevo valor en la ec. 2-18, para la potencia de ruido térmico da:

$$Prx = \log.^{-1}\left[\frac{90 - S/R}{10}\right] = \log.^{-1}\left[\frac{90 - 67.0}{10}\right] \text{ pw}$$

Prx = 200 pw.

-Tramo 2 : S/R = 80.5 - 6
S/R = 74.5 dBm
y Prx = 36 pw.

- Tramo 3 : S/R = 83.0 - 6

S/R = 77.0 dBm.

y Prx = 20 pw.

Sumando la potencia de ruido de los tres tramos, da una potencia total de ruido térmico de:

Prxt = 200 + 36 + 20

Prxt = 256 pw. (menor que 407 pw. C.C.I.R.).

Por lo que esta primera recomendación, se cumple perfectamente existiendo un margen de seguridad para el ruido térmico de:

margen de ruido = 407 - 256 = 151 pw.

2.11.2. Segunda recomendación (20% del tiempo del peor mes).

Al valor de la relación S/R, que posea el tramo que tiene mayor margen de desvanecimiento real (tramo 2, F = 21 dB), se le resta la cantidad de decibelios que se vea, con la ayuda del gráfico, Fig. 8 del anexo, que resulta de ubicar el valor del margen de desvanecimiento F = 21 dB y el valor del 20/n% del tiempo, en que ocurre este desvanecimiento, siendo "n" el número de tramos. ($n = 3$)

$\frac{20}{3}$ = 6.67%, lo cual da un valor de aproximadamente - 6 dB que hay que restar al tramo 2. Al resto de tramos a sus valores de S/R, sólo se les restará 2 dB, y con estos nuevos valores de S/R se procederá a calcular la potencia de ruido total.

- Tramo 1 : S/R = 73 - 2
  S/R = 71 dBm.
  y Prx = 80 pw.

- Tramo 2 : S/R = 80.5 - 6 (peor tramo)
  S/R = 74.5 dBm.
  Prx = 36 pw.

- Tramo 3 : S/R = 83 - 2
  S/R = 81 dBm.
  Prx = 8 pw.

ruido total térmico Prxt = 124 pw., potencia de ruido, que es menor al límite recomendado por el C.C.I.R., el mismo que es de Prxt = 407 pw. Luego esta recomendación se cumple perfectamente.

2.11.3. Tercera recomendación (0.0112/ n% durante un minuto del peor mes)

Así mismo, una vez elegido el peor tramo, o sea el que posee mayor margen de desvanecimiento (tramo 2), se procede a encontrar la cantidad de decibelios, por causa de un profundo desvanecimiento, decibelios que hay que restar al valor de su relación S/R, valiéndose para ello de la misma Fig. 8, al final en Anexo, donde ubicando el valor del fading real F = 21 dB y el porcentaje del tiempo 0.0112/3% = 0.0037% en el eje de las ordenadas,vemos que en la abcisa se tiene un valor aproximado de 36 dB, que hay que restar al valor de S/R. de este tramo 2.

Con el nuevo valor de S/R, se calcula la potencia de ruido, la misma que no deberá sobrepasar los 47500 pw., recomendados por el C.C.I.R.

- Tramo 2 : S/R = 80.5 - 36
  S/R = 44.5 dBm.

$$Prx = \log.^{-1}\left[\frac{90 - 44.5}{10}\right] \quad pw$$

Prx = 35482 pw. (ruido dependiente)

Prxt = ruido dependiente + ruido independiente $<$ 47500 pw.
Prxt = 35482 + 136 = 35618 pw $<$ 47500 pw. C.C.I.R.

Por lo tanto, esta tercera recomendación también se cumple a cabalidad. Por lo que se puede decir en conclusión que el diseño, cumple con recomendaciones para la cantidad del ruido, impuestas por organismos especializados como lo es el C.C.I.R., brindando de esta

MEMORIA DE CALCULO DEL RADIO-ENLACE UHF (24 CANALES) MONTEVERDE-PASCUALES.

2.3	LUGAR		Monteverde	C. Conzálex	C. Gonzálex	C. Azúl	C. Azúl	Pascuales
2.1	FRECUENCIA DE OPERACION f	MHz	450		450		450	
2.3	LONGITUD DEL TRAYECTO d	Km	38.8		65.5		9.9	
2.6	ALTURA DE LA TORRE Ht	m	80	30	30	30	30	30
2.6.3	LONGITUD DE CABLE Lc	m	120	50	50	50	50	50
2.6.3	ATENUACION EN CABLES $Ac^{dB}/100$	m	3.0		3.0		3.0	
2.6.4	ATENUACION FILTROS tx y rx af	dB	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2.6.2	ATENUACION POR OBSTACULOS Az	dB	10.0		0.0		0.0	
2.9.	GANANCIA DE ANTENAS tx y rx	dB	16	16	16	16	9	9
2.9.	POTENCIA TRANSMISORES Ptx,w -	dBm	10 - 40		10 - 40		10 - 40	
2.10.	NIVEL DE RECEPCION Nrx	dBm	- 60.0		- 52.5		- 50.0	
2.8.1	UMBRAL DEL RECEPTOR Urx	dBm	mejor que -90 (p.ej. - 100 dBm).					
2.10.1	VALOR DEL SISTEMA Sv	dB	mejor que 173 (p.ej. 175 dB)					
2.10.1	RELACION SEÑAL A RUIDO S/R	dBm	73.0		80.5		83.0	

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES Y OBJETO DE LAS PRUEBAS

En este capítulo se tratará el asunto importante, de como se verifica si los distintos trayectos que conforman la ruta del radioenlace, se encuentran en condiciones como para que la onda radioeléctrica pueda propagarse a través de la tropósfera, sin inconvenientes, que perjudiquen de alguna manera la buena recepción de la señal, portadora de la información.

Esta solución de verificación, generalmente resulta ser costosa, pero muchos de los resultados que brindan estas pruebas, ayudan para que el diseño del redioenlace pueda ser mejorado y adquiera cada vez mayor seguridad.

El objeto de las pruebas de propagación o también denominadas "Pruebas del trayecto", consiste en confirmar la posibilidad de explotar el trayecto por microondas, antes de instalar las torres con carácter permanente, y en determinar las alturas óptimas de las mismas para lograr la calidad de transmisión deseada.

Las dos causas principales del mal funcionamiento de un sistema, son la obstrucción del has radioeléctrico por falta de un adecuado margen sobre obstáculos y la reducción del nivel de la señal receptada producida por reflexiones de la misma en el suelo. La primera dificultad puede evitarse estableciendo un perfil preciso, y tomar las medidas que sean necesarias para evitar las obstrucciones. El inconveniente de las reflexiones, puede evitarse eligiendo adecuadamente las alturas de las antenas a base de la información derivada de las mediciones de pérdida en función de la altura, obtenidas gracias a las pruebas.

Por regla general, se recomienda que se efectúen pruebas en todos los trayectos principales de la ruta del enlace radioeléctrico, excepto en los siguientes casos:

1-Trayectos sobre terrenos boscosos ó bastantes accidentados, en los

que la posibilidad de que se produzcan reflexiones intensas es muy pequeña, y para los cuales se dispone de un perfil preciso.

2-Trayectos en los que el margen sobre obstáculos es suficiente como para que el diagrama de radiación de la antena discrimine cualquier reflexión posible.

3-Sólo se efectuarán pruebas en trayectos sobre agua cuando no pueda obtenerse de otra forma información precisa sobre el emplazamiento y la altura de un obstáculo que reviste una importancia esencial en la eliminación de las reflexiones en el agua. Además, como es obvio, en trayectos que posean obstrucciones sea en el has radioeléctrico o en su primera zona de fresnel, y en aquellos trayectos que cuenten con perfiles imprecisos.

3.2. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO

La prueba del trayecto para un radioenlace es una operación costosa y de gran envergadura. Para obtener buenos resultados debe organizarse cuidadosamente y llevarse a cabo con esmero. Deben erigirse torres provisionales de prueba, con tranceptores en ambos extremos. Se obtienen las lecturas de niveles de recepción y se los analiza, para luego pasar al trayecto siguiente.

El equipo típico de prueba, debe ser ante todo preciso, confiable, de fácil operación y en lo posible liviano, debe poder ser alimentado por batería o por corriente alterna.

Para la coordinación de las pruebas de este Proyecto, se utilizó equipos de radio JRC (Japan Radio., Ltd.), modelo JHV-491 VHF/UHF equipado con un solo canal para radioteléfono. Las principales especificaciones técnicas, las nombro a continuación:

- Rango de radio frecuencia : 250 - 470 MH
- Modo de operación : Duplex
- Voltaje de alimentación : 13.8 VDC/110 VAC

- Potencia de transmisión : 25 W (para base)
  5 W/20W (para móvil)
- Umbral del receptor : -116 dBm

Además del equipo de radio, se contó con dos antenas YAGI de 8 dB cada una, y dos mástiles de 6 m. de altura cada uno, utilizados para el anclaje de las antenas. Suficiente cable coaxial para conectar las antenas con el equipo de radio, y por último un generador de 1.5 Kw portátil.

Del rango de frecuencia, se escogió el valor de 380 MHz, como el valor de la frecuencia de trabajo, y del rango de la potencia de trasmisión el valor de 6 W, para la potencia de trabajo.

3.3. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS EFECTUADAS

Como se podrá observar en los perfiles de los diferentes tramos del radioenlace, el trayecto que presenta dificultades de obstrucción es el tramo Monteverde-Cerro González, por ello se tomó la decisión de hacer las pruebas de propagación tan sólo en este tramo.

De acuerdo al equipo con que contábamos, se propuso medir el nivel de recepción de la señal y comprobar objetivamente el ruido que posee la señal (conversación telefónica) al escucharla por el auricular del aparato telefónico.

Una vez ubicados en los sitios extremos del tramo de interés, y si observamos los perfiles, lo que se hizo fue; en Monteverde, avanzar aproximadamente 1 Km. hacia Cerro González, de tal manera de ubicarnos en la pequeña elevación de 55 metros de altura que se observa en el perfil, tratando de simular la altura de la torre que se instalará en Monteverde. Al otro extremo en Cerro González nos ubicamos en la cumbre del Cerro.

Luego de realizar algunas mediciones, en primer lugar, logra

mos una comunicación de audio que, para nuestro juicio era excelente, situación que nos sorprendió, porque como se podrá observar en el perfil, el haz radioeléctrico y por ende la primera zona de Fresnel se encuentran obstruídos, en las condiciones en que se establecía la comunicación. (Ver en el ANEXO Fig. 9)

Buscando las mejores condiciones de comunicación, se llegó a medir un valor para el nivel de recepción de: Nrx = - 93 dBm .

Para comprobar si el valor experimental medido, se encuentra acorde con el valor que se basa en cálculos matemáticos, pasaremos al siguiente punto para ver tal verificación.

3.4. COMPARACION ENTRE VALORES CALCULADOS Y MEDIDOS

Mediante un procedimiento similar al efectuado en el capítulo 2, se procederá a evaluar el valor teórico del nivel de recepción, esta vez utilizando directamente las fórmulas de interés.

- distancia del tramo — d = 38.8 km.
- frecuencia de trabajo — f = 380 MHz
- atenuación por cables — Ac= 2 dB
- atenuación por filtro — Af= 3.5 dB
- atenuación por espacio libre — Ao= 28.1 + 2 alog f.d
  Ao= 111.5 dB
- atenuación por obstáculos — Az= 45 dB (Δh=-10m)

(ver en NEXO Fig. 10)

- atenuación neta del tramo — at=Ac+Af+Ao+Az
  at=162 dB
- ganancia de antenas — Gant=8+8=16 dB
- pérdidas del trayecto — At=at-Gant
  At=146 dB
- Potencia de transmisión — Ptx=6w ≡ 37.8 dBm
- Nivel de recepción calculado ; — Nrx=Ptx - At
  Nrx=-108.2 dBm

Por lo que se puede observar, la diferencia entre el valor medido (Nrx = -93 dBm) y el valor calculado (Nrx = -108.2 dBm), resulta ser de 15.2 dBm.

3.5. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS

El valor calculado del nivel de recepción, guarda un cierto margen de seguridad (15.2 dBm), esto hace pensar, que el método de cálculo para el diseño del radioenlace es confiable, y que un buen diseño, puede no siempre requerir de la verificación por parte de las pruebas de propagación.

De todo el procedimiento de cálculo, el valor que da mayor incertidumbre en el resultado final para el valor del nivel de recepción, es el de atenuación adicional por obstáculos (Az = 45 dB), en primer lugar, porque las curvas que determinan este valor provienen de resultados recopilados de experiencias en transmisiones en estasfrecuencias. En segundo lugar, la frecuencia de trabajo, muchas veces no corresponde exactamente a ninguna de las tres existentes (300, 400 y 800 MHz). Por último el error que trae el valor de Δh, localizado en los perfiles y las interpolaciones que hay que hacer en las curvas.

Debido a que el valor de Δh, depende directamente del abultamiento que se le de a la tierra por medio del factor K, que para nuestro caso escogimos un valor de K=4/3, la diferencia entre los valores calculados y medidos para el nivel de recepción, puede ser justificada, argumentando que el valor K escogido (4/3), estuvo equivocado.

En nuestro caso, si tenemos un margen de seguridad de 15.2 dBm, para el nivel de recpeción, esto quiere decir que Δh, debió ser menor, para de esta manera Az disminuya. Para que esto suceda, el mayor obstáculo, debe sobresalir menos y por tanto el valor de K debe aumentar.

Por lo tanto si habíamos escogido un valor de K=4/3 =1.3333, sería conveniente darle un valor más alto por ejemplo K=2.0 ó incluso K=2.5. Como queremos que nuestro diseño, mantenga buenos márgenes de seguridad, se ha decidido mantener el valor escogido de K=4/3.

Algo de interés que hay que notar, es el que los valores calculados y medidos del nivel de recepción, no llegan a sobrepasar al valor del nivel del Umbral del receptor (Urx = -116 dBm), por lo que la señal, no va a llegar a silenciarse, o perderse. Esto gracias a que el equipo de radio es bastante moderno y sofisticado, pero si por ejemplo se contara con un receptor con un valor de Umbral Urx=-90 dBm, la señal se nos hubiera perdido y no la hubiéramos podido escuchar.

Al final de realizadas las pruebas, y luego de analizar los resultados, se estipularon sugerencias para algunas características importantes del equipo a emplearse en el diseño e instalación del sistema de comunicación, las mismas son:

- Potencia de transmisión : Ptx = 10W ≡ 40 dBm
- Umbral de receptor : Urx = -98 dBm o mejor
- Valor del sistema : Sv = 166 dB o mejor
- Pérdidas en duplexor (filtros) : Af menor a 4 dB
- Ganancia de antena : G mayor a 14 dB
- Tipo de antena : YAGI de alta directividad
- Cable de antena : de baja pérdida, por ejem. ANDREW tipo LDFS-50 de 0.03 dB/m/400 MHz de pérdida.
- Altura de torre en Monteverde : Ht=80 mts. torre del tipo soportada.
- Altura de torre en C. González : Ht = 30 mts. torre del tipo soportada y/o autosoportada.

En conclusión y comparando estas recomendaciones, con los diferentes valores de nuestro diseño, vemos que ambos son bastantes semejantes, incluso el diseño, utiliza valores que garantiza de una mejor manera la calidad de la señal, portadora de la información y la confiabilidad del sistema de transmisión de telecomunicación.

4.1. EQUIPO DE RADIO

En general, el equipo deberá ser de construcción modular, a fin de facilitar la sustitución de unidades en caso de avería o de cambio de función. Los equipos deberán poseer una tecnología eléctrica, mediante el uso de componentes electrónicos, limitándose el uso de componentes electromecánicos.

Los elementos o componentes integrantes de los equipos, deberán poseer una vida de mantenimiento mínimo de 12 años, los mismos contarán con un diseño tal que no provoquen excesivo calor.

Referente a los componentes electrónicos, se tenderá,en lo posible,a la utilización de circuitos integrados en el diseño de los circuitos. Los circuitos integrados que se utilicen pertenecerán a las familias normalizadas con previsión del futuro: TTL, ECL y MOS.

Las Placas de Circuito Impreso, deberán contar con un sistema que facilite su extracción de los conectores y que evite su inserción equivocada en los mismos, además llevarán impreso un código de identificación que facilite su utilización. Los contactos de los conectores, deberán resistir hasta 1.000 extracciones e inserciones, sin modificación en la calidad del contacto.

El Tranceptor, formado por un transmisor y un receptor, los mismos que como se dijo estarán construídos en un ciento por ciento con elementos de estado sólido.

El transmisor, incluirá el circuito oscilador de tipo sintetizado, que permitirá seleccionar la frecuencia de trabajo asignado por el IETEL, el modulador y amplificadores de potencia.

El receptor, incluirá el amplificador de radiofrecuencia, osciladores locales, mezclador, amplificadores de frecuencia intermedia, limitadores y el demodulador.

El duplexor, o también denominado filtro separador, permitirá el uso común de una sola antena para transmisión y recepción a la vez.

Los equipos podrán ser alimentados a partir de las siguientes fuentes de potencia:

- Tensión contínua procedente del sistema de alimentación, de 24 o 48 voltios (-15% a + 30%), con positivo a masa.

- Tensión contínua, procedente de baterías, de 12 voltios (-15% a + 30%), con positivo a masa.

- Tensión alterna de la red o generador térmico de 117/220 voltios (-15% a + 10%) de 50/60 Hz (± 2 Hz)

Respecto de la fiabilidad, la misma que se define, como la aptitud de un dispositivo para cumplir una función requerida en condiciones determinadas, durante un período de tiempo dado, vendrá dada por el fabricante. Una valoración numérica típica promedio es de 10 averías/100 unidades/año.

La documentación técnica, deberá ser facilitada en su totalidad por el fabricante, la misma deberá incluir, curvas de varia - ción y selectividad de distintos parámetros importantes del equipo, diagramas de circuitos, diagramas de niveles e impedancias, y en general planos del diseño de todos los equipos.

Con el fin de brindar una resumida información sobre datos de especificaciones técnicas, recavada de distintos manuales facilitados por los fabricantes de equipos, que poseen representación en nuestro país tales como: ERICCSON, GTE, NERA, MOTOROLA, etc. Presento a continuación la siguiente información, la misma que ayudará en cierta forma para realizar el diseño de radioenlaces en la banda de UHF.

EQUIPO DE RADIO UHF:

1.- Banda de radio frecuencia	270-470 MHz	270-470 MHz
- Banda de Modulación FDM	60-108 MHz	12-108 MHz
- Número de canales	12 FDM Canales telefónicos	24 FDM canales telefónicos
- Potencia de transmisión hacia antena	10W (+40 dBm)	10W
- Valor del sistema	173 dB	173 dB
- Umbral del receptor	-105 dBm	-100 dBm
- Figura de ruido del receptor	$\leq$ 3.5 dB	$\leq$ 3.5 dB
- Desviación de frecuencia	35 KHz	35 KHz
- Ancho de banda FI	$\pm$ 375 KHz	$\pm$ 600 KHz
- Espaciamiento de canales de R.F.	10 MHz	12 MHz
- Impedancia de entrada y salida de R.F.	50 ohmioa	50 ohmios
- Máx. nivel entrada al receptor	- 10 dBm	- 10 dBm
- Suministro de potencia	24, 48 o 60 VDC 117/220 VAC	
- Consumo de potencia	100 W	100 W
- Margen de temperatura	- 10 a + 60°C	
2.- Banda de radio frecuencia	270-470	790-960
- Banda de Modulación FDM	60-300 MHz	60-300

- Número de canales	60 FDM can. telf.	60 FDM can. telf.
- Potencia de transmisión	10 W	5 W
- Valor del sistema	168 dB	1.64 dB
- Umbral del receptor	- 98 dBm	- 95 dBm
- Figura de ruido del receptor	$\leq$ 3.5 dB	$\leq$ 7.0 dB
- Máx. desviación de frecuencia	35 KHz	50 KHz
- Ancho de Banda	$\pm$ 1 MHz	$\pm$ 1 MHz
- Espaciamiento de canales de RF.	20 MHz	20 MHz
- Impedancia de salida de R.F.	50 ohmios	50 ohmios
- Máx.nivel entrada al receptor	- 10 dBm	- 15 dBm
- Suministro de potencia	24, 48 o 60 VDC 117/220 VAC	
- Consumo de potencia	100 W	100 W
- Margen de temperatura	- 10 a + 60°C	

DUPLEXOR : (Filtro separador o Filtro duplexor)

- Rango de sintonización	420-470 MHz
- Máxima entrada de potencia de R.F.	50 Watt
- Pérdidas de inserción en transmisión	1.2 dB típico 1.0 dB

- Pérdidas de inserción en recepción	1.2 dB típico 1.0 dB
- Pérdidas en cables y circuladores (caso de un sistema redundante)	0.8 dB
- Aislamiento de la señales Tx y Rx	85 dB
- Impedancia	50 ohmios
- Tipo de conector	BNC
- Peso	aprox. 1500 g.
- Rango de temperatura	- 30°C a + 60°C

4.2. TORRES

El equipo de torres es un aspecto que hay que darle su importancia, especialmente, en el aspecto económico, pues su instalación requiere de grandes cantidades de dinero, cuando la altura de las mismas sobrepasa los 10 metros.

Muchas de las veces, la elección de la ruta de determinado radioenlace, se lo debe hacer pensando en que las torres deberán ser lo más pequeñas posibles en su altura, para su instalación en los sitios del radioenlace.

Estos sitios, conviene en lo posible, sean despampanados, es decir desprovisto de bosques de elevada altura, edificaciones altas, cercanas al lugar, etc. No es conveniente tampoco colocar las torres, justo en la cumbre, por ejemplo,de un cerro o loma, especialmente cuando los vientos soplan a grandes velocidades.

Las torres autosoportadas, las mismas que se sustentan a base

de profundas perforaciones en el suelo para poder agarrarase fuertemente a base de brazos metálicos y de concreto, son las más caras, pero poseen la ventaja de que ocupan pequeñas áreas para su instalación.

Torres del tipo soportadas, utilizan para su anclaje, tensores de cable de acero, denominados vientos, los mismos que sujetan la torre a determinados intervalos de altura de la torre, y sostenidos los anclados a determinadas distancias desde la base de la torre. Este tipo de torres, resultan más baratas, pero requieren de grandes áreas para su instalación.

El tipo de torres que se utilizará en el proyecto Monteverde-Pascuales, serán del tipo autosoportadas. En primer lugar porque las antenas que tendrán que soportar las torres, serán del tipo YAGI, antenas muy livianas, y de fácil instalación; se cuenta con suficiente área para su instalación y su costo será relativamente bajo.

Generalmente, se acostumbra a usar tres tensores por intervalo de altura para el sostén de la torre, los puntos de anclaje de los mismos, estarán formando un triángulo equilátero (120° de separación de vértice a vértice). La distancia mínima desde la base de la torre hasta los puntos de anclaje de los tensores o llamados vientos, será de un 80% de la altura del intervalo de sostén, y el área mínima que se requerirá para su instalación deberá ser un rectángulo de 139% de largo, por 120% de ancho de la altura de la torre. (ver fig. 4-1).

De acuerdo a información recavada de catálogos de la fábrica de torres, denominada ROHN, presento a continuación algunos ejemplos que aclaran el asunto de la colocación de los vientos en torres de diferentes alturas. (fig. 4-3).

Una explicación general de lo que se quiere decir en los gráficos es la siguiente: (ver fig. 4-2).

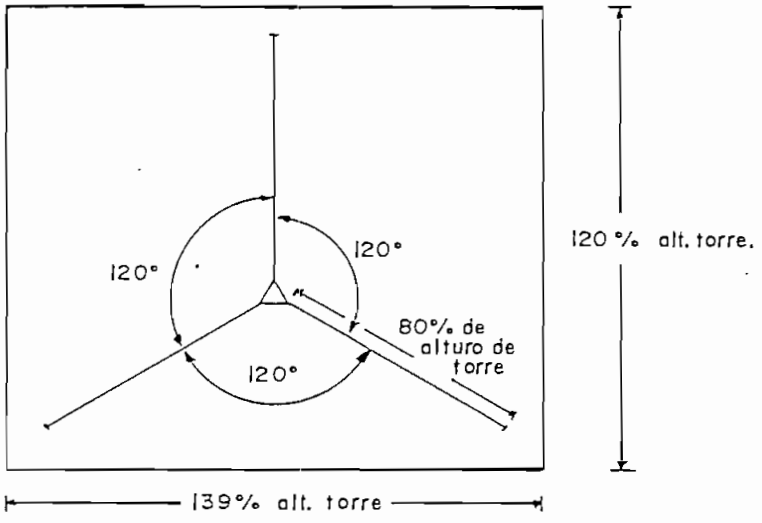
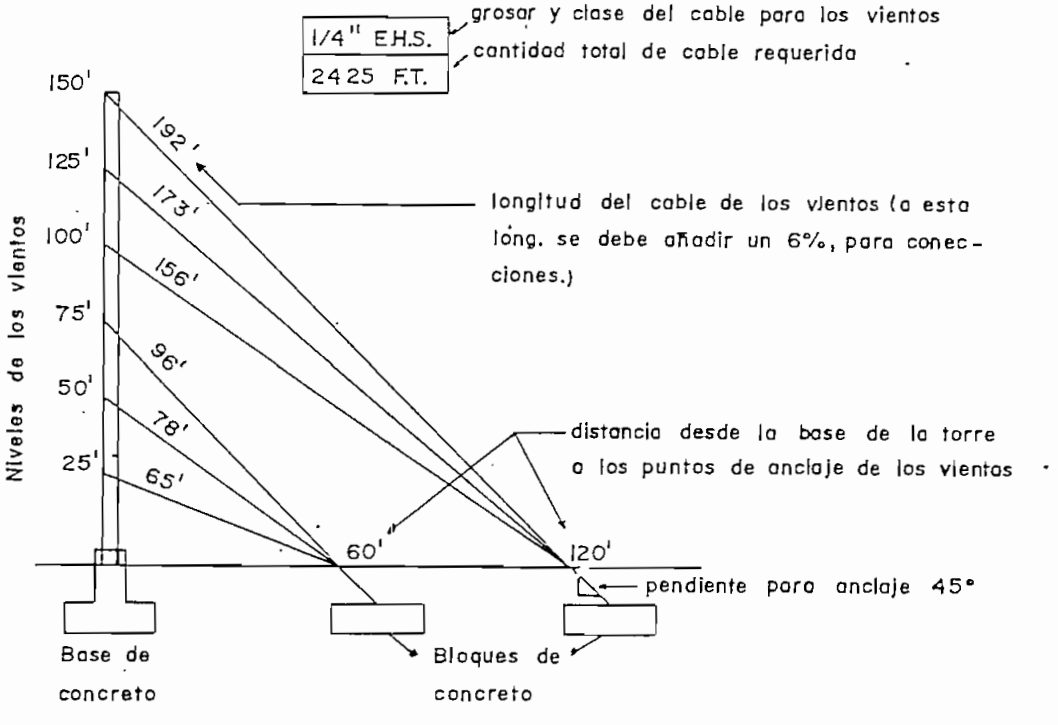


Fig. 4.- 1 Area mínima requerida para instalación de torre soportada por vientos.



NOTA: todas las medidas están en pies, para utilizar números enteros

Fig. 4 - 2 Explicación para colocación de vientos, en una torre de 150 pies de alto.

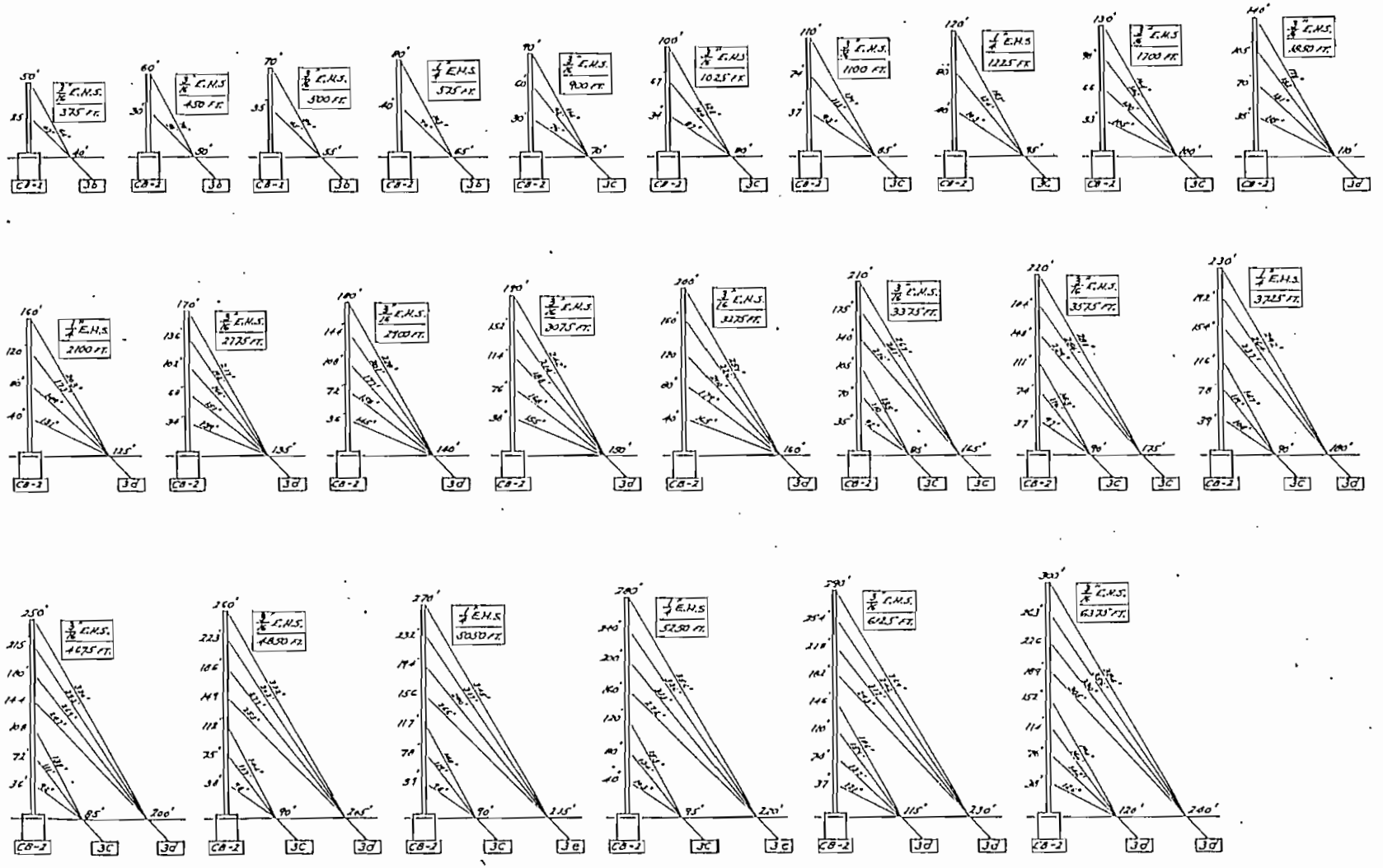


Fig. 4-3 Torres Soportadas. Según especificaciones de la fábrica ROHN.

4.3. CABLES COAXIALES

Para la interconexión entre los equipos de radio y la antena, se utilizan los denominados cables coaxiales.

Los cables coaxiales, satisfacen la demanda particular, cuando se está trabajando en frecuencias menores a los 2 GHz, donde las pérdidas o la atenuación de éstos es relativamente baja.

El montaje y la instalación se vuelven fáciles, si se usa este tipo de cables, debido a su gran flexibilidad y facilidad para hacer interconexiones entre otras ventajas. Existen en el mercado dos tipos de cable coaxial, uno que utiliza como dieléctrico el aire y otro que utiliza aislante sólido (Polyetyleno).

El cable coaxial con aire como aislante entre el conductor externo y el interno, presenta menos pérdidas o atenuación a la señal electromagnética, y es muy utilizado en sistemas de radio no estacionarios, debido a su baja deformación.

El cable con aislamiento sólido es menos caro que el anterior, por su alta atenuación que presenta a las señales radioeléctricas y se lo acostumbra utilizar, cuando se requieren longitudes cortas del mismo y en sistemas de radio que van a funcionar permanentemente.

De algunos manuales conseguidos de empresas tales como MOTOROLA y la ERICCSON, se ha podido recopilar la siguiente información técnica:

Especificaciones Técnicas: Cables coaxiales:

- Tipo de cable	7/8" con aislante sólido	7/8" con aislante aire
- Impedancia	50 ohmios	50 ohmios

- Atenuación:	dB/100m.	dB/100m.
a 40 MHz	0.75	0.75
a 150 MHz	1.57	1.51
a 300 MHz	2.2	2.0
a 450 MHz	2.89	2.72
a 800 MHz	4.00	3.64
a 960 MHz	4.53	4.10
- Diámetro:	28.2 m m	28.3 m m
- Peso por 100 m:	108 Lbs	176 Lbs.

4.4. SISTEMA DE ANTENAS

En sistemas de enlaces punto a punto, se utilizan antenas altamente direccionales, las mismas enfocan la energía electromagnética en un estrecho rayo que puede ser dirigido hacia la antena receptora, incrementando de esta forma la potencia efectiva recibida.

En el rango de UHF, es muy corriente utilizar antenas direccionales tipo YAGI, y antenas parabólicas tipo jaula de ardillas (GRIDPAK).

Antenas del tipo YAGI, presentan entre otras ventajas, la de poseer una construcción liviana y sencilla, tener gran variedad de valores de ganancia, su instalación es relativamente fácil y se acomoda a cualquier tipo de clima y condiciones atmosféricas.

Las antenas parabólicas, resultan ser más voluminosas y de compleja construcción comparadas con la YAGI, a cambio, poseen mejores características técnicas tales como: mayores valores de ganancia, mayor ancho de banda, más alta directividad, etc.

La ganancia de las más comunes y comerciales antenas paraból<u>i</u>

cas, con una eficiencia del 65% a 55% bien dado por:

$$G = 20 \log B.f - 44 \quad (dB) \qquad (4-1)$$

donde: G = ganancia de la antena en dB
B = diámetro de la parábola en m.
f = frecuencia de trabajo en MHz

De entre algunos manuales, tales como la ANDREW, AEA (Antena Engineering Asia) Jaybeam Limited y otros, presento una resumida información de especificaciones técnicas de antenas YAGI y parabólicas:

Esp. Técnic. YAGI:

Ancho de banda (MHz)	Ganancia (dB)	Elementos (No.)
100-500	7.5	4
150-500	10.0	8
300-500	12.0	12
380-500	14.6	18
400-520	16.0	24
700-850	10.0	8
700-850	15.1	18
790-960	15.0	18
800-960	16.0	18
800-960	17.0	24
820-960	19.0	24

NOTA: La ganancia de dB, está referida al dipolo de medida longitud de onda.

Esp. Técnic. antenas parabólicas (GRIDPAK)

Ancho banda (MHz)	Diámetro (m)	Ganancia (mitad de banda) (dB)
335-365	2	15.2
	3	18.4
	4	20.7
365-403	2	16.3
	3	19.4
	4	21.8
403-470	2	16.3
	3	19.6
	4	22.2
820-960	2	22.7
	3	25.8
	4	28.1
1427-1535	2	26.7
	3	30.3

El diseño del radioenlace, en la banda de UHF, para el Poliducto Monteverde-Pascuales, aspecto que ha conllevado, el mayor interés, en el desarrollo del presente trabajo de tesis,ha brindado resultados, bastante satisfactorios, especialmente por tratarse de un trabajo, que tiene su importancia, ya que el mismo, culminará con su instalación y puesta en funcionamiento por parte de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana -CEPE-, para su servicio en un futuro no muy lejano.

El diseño se lo ha realizado, bajo recomendaciones y normas impuestas por renombrados organismos internacionales tales como el C.C.I.T.T. (Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía) y el C.C.I.R. (Comité Consultivo Internacional de Radio), asegurando de esta manera el servicio que brindará el enlace de comunicación cuando se lo instale y se ponga en funcionamiento permanente, por parte de CEPE.

Además, de poseer un fuerte soporte teórico y de cálculo, el enlace de comunicación, tiene la ventaja de respaldarse en los resultados que se obtuvo de las "Pruebas de Propagación" realizadas en momento oportuno, cuando aún se estaba en la etapa de diseño y cálculo.

Las mencionadas pruebas de propagación verificaron, que el método de diseño para el radioenlace analógico, posee un buen margen de seguridad, con alta confiabilidad y rendimiento para el buen funcionamiento y servicio del mismo.

Los resultados obtenidos de las pruebas, (revisar capítulo 3), muestran que el trayecto Monteverde-Cerro González, tramo con mayores dificultades de línea de vista por la presencia de obstáculos, es un trayecto que con ayuda de torres adecuadamente altas, 80 y 30 metros respectivamente, presenta un excelente medio para que la señal radioeléctrica viaje al extremo receptor, sin problemas de desvanecimientos acentuados y por tanto llegue una señal libre de ruidos indeseables que perjudiquen la buena recepción de la información que porta la misma.

Dado que el nivel de recepción medido, es mayor al valor calculado, con una diferencia aproximada de 15 dB, nos llevó a verificar que el valor para el factor de abultamiento de la tierra K, es mayor al que habíamos asumido (K = 4/3), en el método de cálculo del diseño.

Un valor mayor que K = 4/3, implica que el radio ficticio de la superficie de la tierra Ro = KR (R = 6370 Km. radio real de la tierra) aumente, haciendo que el abultamiento de la tierra disminuya, es decir que por ejemplo, una determinada montaña, parece disminuir su altura. Todo esto da como resultado que la línea de vista quede más despejada de la presencia de obstáculos, y por tanto la atenuación adicional por obstáculos, disminuya, o incluso valga cero. (revisar capítulo 2, punto 2.6.2.).

La diferencia de 15 dB, para los valores de nivel de recepción, entonces, hace que el valor escogido de K = 4/3, para el cálculo del radio enlace, sea un valor conveniente, ya que el mismo, está brindando cierto margen de seguridad al diseño realizado.

Otra de las consecuencias, de tener esta diferencia de 15 dB, es que el tramo, debido a su irregularidad topográfica, es decir, por poseer características de terreno no plano, está libre de poseer atenuaciones adicionales, por ondas reflejadas en el suelo, pues las mismas seguramente están siendo dispersadas o bloqueadas por protuberancias del terreno a lo largo del trayecto.

Un dato interesante a propósito de las ondas reflejadas, dice: Si la superficie topográfica presenta irregularidades de determinada altura H, la misma que haga que la diferencia de fase entre el rayo directo y el reflejado sea superior a un cuarto de longitud de onda, la superficie se considera irregular, y las reflexiones sufrirán dispersión. Para este valor límite las irregularidades deben tener una altura de:

$$H = \frac{300}{16\ f\ B} \qquad \text{(metros)}$$

en donde: f = frecuencia en MHz

b = ángulo de insidencia rasante en radianes. Se considera genralmente B = 0.1 grados = $1.79.10^{-3}$ rad.

En 450 MHz, frecuencia de trabajo de nuestro radioenlace, y utilizando la última ec., la altura de las irregularidades deberían ser mayores a aproximadamente 25 metros, situación que se cumple satisfactoriamente, si observamos los perfiles de bs tres trayectos que conforman todo el radioenlace Monteverde-Pascuales.

Se puede decir entonces, que la señal radioeléctrica, de nuestro radioenlace, no va a sufrir una atenuación adicional por causa de la onda reflejada, ya que la misma estará siendo dispersada o bloqueada por las irregularidades que presenta el suelo, en todos los trayectos.

Un comentario final acerca de este aspecto, es que las reflexiones deben ser menos importantes en las frecuencias más elevadas, ya que incluso las irregularidades pequeñas del terreno, podrían dispersarlas.

Retomando el tema del método de cálculo para nuestro radioenlace, en el capítulo 2, punto 2.10.1, se necesitaba de un dato importante, proveniente de los fabricantes de los equipos, el mismo es el denominado "Valor del Sistema", dicho valor, a más de ser un dato del fabricante, puede ser calculado, y para aclarar el procedimiento de su cálculo, en el Apéndice, presento un resumido método que evalúa dicho valor.

Para terminar y a manera de conclusión seguidamente presento un método resumido para el diseño de un radioenlace analógico FDM/FM, - banda de UHF (desde 300 a 1000 MHz).

METODO DISEÑO DE RADIOENLACES ANALOGICOS EN LA BANDA DE UHF

Para aplicar este método, previamente se deberá contar con los perfiles elaborados de los diferentes tramos que conforman la ruta del radioenlace (Ver Anexo 1).

1. Nombre de los tramos que conforman el radioenlace.
2. Distancia d en Km. de cada uno de los tramos.
3. Frecuencia de trabajo f en MHz.
4. Cálculo de la altura de torres Ht en m, por tramo.

El cálculo de la CLEARANCE C, dará cierto criterio para establecer la altura que deban poseer las torres.

$$C = 0.6\sqrt{\lambda \frac{d1.d2}{d} \cdot 10^3} + \frac{d1.d2}{39} \quad (m) \qquad \text{ec.(1)}$$

longitud de onda $\lambda = \frac{300}{f\ (MHz)}$ (m) ec.(2)

distancias d1 y d2 en Km., las mismas quedan establecidas, ubicando el obstáculo más sobresaliente del trayecto. (Ver Anexo 2).

Si el valor de C., es razonable, entonces:

Ht = C en metros.

caso contrario, se estiman valores adecuados.

5. Estimación de Atenuación Adicional por Obstáculos Az en dB por tramo.

Cuando la primera zona de Fresnel (Anexo 3), se encuentra obstruida en más del 60% de sus radios en cualquier punto del trayecto, o peor aún, la línea de vista se encuentra bloqueada por obstáculos, se procede a valorar la mencionada atenuación por obstáculos (Ver Anexo 4). Caso contrario, Az = o dB.

6. Longitud de cables coaxiales Lc en m. por tramo.

A la altura de la torre transmisora, se le suma la distancia desde la base de la torre hasta el lugar donde vayan a situarse los

los equipos de radio. Igual se hace en el lado de recepción, y sumando estos dos valores se tiene la longitud de cable total Lc, que se vaya a utilizar en cada tramo.

7. Atenuación debida a cables Ac en dB por tramo.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Ac = Lc\ (m) \cdot \frac{X\ dB}{100\ m}\ (dB) \qquad \text{ec.(3)}$$

valores standares de X, para cables coaxiales de 50 ohmios HELIAX 7/8 de pulgada, con semi-aire como dieléctrico son:

X = 3.0 en el rango de 300 a 500 MHz.

X = 4.0 en el rango de 800 a 1000 MHz.

8. Atenuación en filtros separadores Af en dB, por tramo.

Valores muy conocidos son los de 2.0 dB tanto para transmisión como para recepción en el rango de los 300 a 800 MHz. Por lo que:

Af = 4.0 dB por tramo

9. Atenuación del espacio libre Ao en dB, por tramo.

Se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$Ao = 28.1 + 20 \log. f.d \quad (dB) \qquad \text{ec.(4)}$$

para el rango de los 300 a 500 MHz (referido al dipolo media longitud de onda).

$$Ao = 32.4 + 20 \log. f.d. \quad (dB) \qquad \text{ec.(5)}$$

para frecuencias mayores a 500 MHz (referido al radiador iso - trópico).

f = frecuencia de trabajo en MHz

d = distancia del tramo en Kms.

10. Atenuación neta del trayecto at en dB.

Resulta de sumar las atenuaciones por: Obstáculos Az, cables Ac, filtros Af y por espacio libre Ao.

$$at = Az + Ac + Af + Ao \quad (dB) \qquad \text{ec.(6)}$$

11. Estimación de la potencia de transmisión Ptx en dBm.

En el rango de UHF (de 300 a 1000 MHz), los fabricantes ponen a disposición transmisores con potencias que van desde los 5 watios hasta los 25 watios. Valores muy empleados son:

Ptx = 5,10.15 y 25 watios para el rango de 300 a 500 MHz.
Ptx = 5 y 10 watios para el rango de los 800 a 1000 MHz.

Para expresar la potencia en dBm se utiliza la siguiente fórmula:

$$Ptx = 10 \log. \frac{Ptx\ (w)\ .\ 10^3\ mw}{mw} \quad (\ dBm\ ) \qquad \text{ec.(7)}$$

12. Umbral del Receptor Urx en dBm.

El umbral, indica la sensibilidad del receptor, se captan señales tan débiles, cuanto mejor sea la calidad de su construcción y tecnología empleada.

Valores típicos de Umbral son los siguientes:

Urx = - 100 dBm para 12 canales
Urx = - 98 dBm para 24 canales
Urx = - 94 dBm para 60 canales

Para el rango de los 400 a 900 MHz.

Es preferible por seguridad escoger un valor de Urx = -90 dBm,

o sea un receptor no tan sensible, de mediana calidad.

13. Cálculo de la atenuación por desvanecimiento F en dB (FADE MARGIN), por tramo.

Primero se establece, el Rendimiento (Rto) con que se quiere que cuente el enlace, por Ej: Rto = 99.99%.

Se calcula la probabilidad de falla del sistema Undp (Sistema - sin diversidad) mediante la siguiente fórmula:

$$Undp = \left(1 - \frac{Rto\ (\%)}{100}\right) \quad \text{ec. (8)}$$

El valor de la atenuación por desvanecimiento F (FADE MARGIN) se calcula así:

$$F = 10 \log \left[\frac{a.b.3.10^{-7}.\ f^{1.5}.d^{3}}{Undp}\right] \ (\ dB) \qquad \text{ec. (9)}$$

f = frecuencia de trabajo en GHz

d = distancia del tramo en Km.

Undp = probabilidad de falla del sistema

a = 4 : para terreno plano, incluso agua
1 : terreno con algunas irregularidades
1/4: terreno montañoso, seco

b = 1/2: áreas húmedas y calientes como de la costa
1/4: zonas interiores templadas
1/8: zonas montañosas frías y secas.

14. Cálculo de la ganancia de antenas Gant en dB por tramo.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$Gant > Urx + at + F - Ptx \quad (dB) \qquad \text{ec. (10)}$$

Urx = Umbral del recpetor en dBm

at = atenuación neta del trayecto dB.

F = margen de desvanecimiento dB.

Ptx = potencia del transmisor dBm.

El valor de Gant, conlleva tanto la ganancia de la antena transmisora, y generalmente dichas ganancias son iguales.

$$Gtx = Grx = \frac{Gant}{2} \quad (dB) \qquad \text{ec. (11)}$$

15. Cálculo de las pérdidas del trayecto At en dB, por tramo.
Se utiliza la siguiente fórmula:

$$At = at - Gant = (Az+Ac+Af+Ao) - Gant \quad (dB) \qquad \text{ec. (12)}$$

donde: at = atenuación neta del trayecto en dB.
Gant = ganancia de antenas en dB

16. Cálculo del Nivel de recepción Nrx en dBm, por tramo.
Se utiliza la siguiente fórmula:

$$Nrx = Ptx - At \quad (dBm) \qquad \text{ec. (13)}$$

donde : Ptx = potencia del transmisor en dBm.
At = pérdidas del trayecto en dB.

17. Valor del Sistema Sv en dBm.

Al igual que el Umbral del receptor, es un dato que da a conocer el fabricante, y el mismo depende de la tecnología que se emplee en la construcción del equipo.

El valor del Sistema básicamente depende de la potencia del transmisor, de la figura de ruido del receptor y del número de canales (ancho de banda).

Valores típicos del valor del Sistema son:

Sv = 173 dBm para 12 canales
Sv = 173 dBm para 24 canales
Sv = 170 dBm para 60 canales.

Valores últimos, en el rango de 279 a 470 MHz y para una poten-

cia de transmisión de 10 watios (40 dBm).

18. Cálculo de la relación señal a ruido S/R en dBm.

Se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo:

$S/R = Sv - At$ (dBm). ec. (14)

donde : Sv = valor del sistema en dBm.
At = pérdidas del trayecto en dB.

19. Cálculo de la potencia de ruido total P.rxt en pw, permitido - por el CCIR, para el diseño del radioenlace.

En conformidad, el CCIR, según Recomendación 395-1, Oslo 1966, Vol IV, los siguientes valores de ruido no deberán ser excedidos en los circuitos de radioenlace de longitud L, comprendidos en el rango de 50 Km $<$ L $<$ 840 Km:

$- 3 \frac{L(Km)}{Km.}$ pw + 200 pw = Prxt. CCIR. ec. (15)

potencia total de ruido en cualquier hora del año

$- 3 \frac{L\ (Km)}{Km.}$ pw + 200 pw, un minuto del valor

promedio de la potencia de ruido en más del 20% del tiempo de cualquier mes.

- 47500 pw, un minuto del valor de la potencia promedio en más que (280 Km / 2500 Km) x 0.1% del tiempo de cualquier mes, si L $<$ 280 Km, ó en más que (L/2500 Km) x 0.1% del tiempo de - cualquier mes, si L $>$ 280 Km.

Al ruido total permitido por el CCIR, lo conforman: de un 25 a 35% el ruido independiente de las pérdidas del trayecto "At", y el restante porcentaje, el ruido dependiente de las pérdidas del trayecto. Al ruido independiente básicamente lo conforman los ruidos de intermodulación y los ruidos básicos.

(25 a 35%) Prxt CCIR = ruido independiente de pérdidas "At"
(75 a 65%) Prxt CCIR = ruido dependiente de pérdidas "At".

Por lo que nuestro propósito, será lograr, no exceder el porcentaje de ruido dependiente, permitido por el CCIR. El no exceder el ruido independiente, depende tan sólo de la buena calidad de los equipos que se adquiera.

20. Cálculo de la potencia de ruido dependiente Prxt, para diferentes tiempos de desvanecimiento indicados por el CCIR.

PRIMERA RECOMENDACION: (Hora peor)

Al valor de la relación señal a ruido S/R, calculada en el punto 18, se le resta 6 dB. Con éstos nuevos valores se calcula la potencia de ruido para cada tramo, utilizando para ello la siguiente ecuación:

$$Prx = \log.^{-1}\left[\frac{90 - S/R}{10}\right] \quad (pw) \qquad \text{ec. (16)}$$

La suma de las potencias de ruido, de todos los tramos, no deberá exceder el ruido total permitido por el CCIR para el ruido dependiente de las pérdidas del trayecto. o sea:

(75 a 65%) Prxt CCI, Prxt evaluado con la ec. 15.

SEGUNDA RECOMENDACION: (20% del tiempo)

Al valor de S/R, del peor tramo (aquel que tiene mayor valor de FADE MARGIN punto 13), se le resta los decibelios que resulten de ver en el gráfico (ver anexo 5) donde se ubica el 20/n% y el valor del FADE MARGIN F, siendo n el número de tramos del radio enlace. Al resto de tramos, a su valor de S/R, sólo se le resta 2 dB.

Con ayuda de la ec. 16, se calcula las potencias de ruido, y se sigue igual que la primera recomendación.

TERCERA RECOMENDACION: (0.0112/n% del tiempo).

Al valor de S/R, del peor tramo, se resta los decibelios que resulte de ver en la figura del mismo anexo 5, ubicando el 0.0112/n% y el valor del FADE MARGIN. F del peor tramo. Con el nuevo valor del S/R, calculamos la potencia de ruido con la ayuda de la ec. 16, la misma que sumada a la potencia de ruido independiente de pérdidas, no deberá exceder los 47500 pw permitidos por el CCIR.

Cabe recordar que el ruido independiente de pérdidas se lo calcula así:

(25 a 35%) Prxt CCIR, Prxt evaluado con la ec. 15.

ANEXO 1.- Elaboración de Perfiles.

Con la ayuda de planos topográficos, se tabula los puntos más bajos y más altos, que se presenten a lo largo del trayecto de determinado tramo del radioenlace. A cada altura de esta tabla, se le sumará la antura que le corresponda en el sitio del abultamiento de la tierra.

El valor de este abultamiento h(x), en cualquier punto del trayecto, se calcula con la siguiente fórmula:

$$h(x) = \frac{d1 \cdot d2}{12{,}74\ K} \text{ (m)} \qquad \text{ec. (17)}$$

d1, d2 y d = d1 + d2 (distancia total del tramo), vienen dados en Km. (Ver Fig. 1).

k = factor de abultamiento, depende de las condiciones atmosféricas del sitio.

k = 4/3 : atmósfera normal, zonas templadas ó calientes, secas, con irregularidades.

2/3 : atmósfera crítica, presencia de neblina, nubes, zonas húmedas y calientes de la costa, áreas planas (agua).

1 : Valor intermedio entre los dos valores antes mencionados.

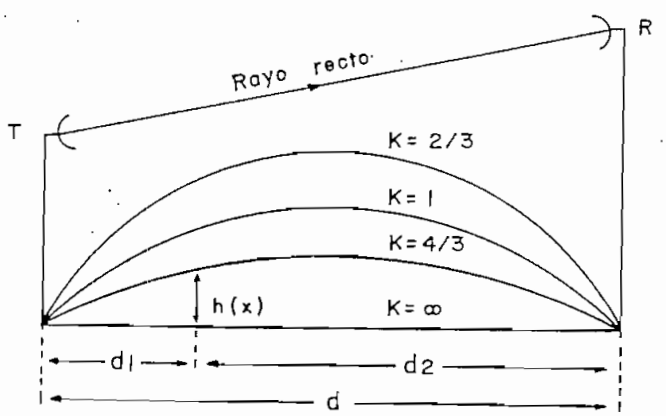


Fig. 1.- Graficación del abultamiento de la tierra.

ANEXO 2.- Ubicación del peor obstáculo, para valorar la CLEARANCE (Ver Fig. 2).

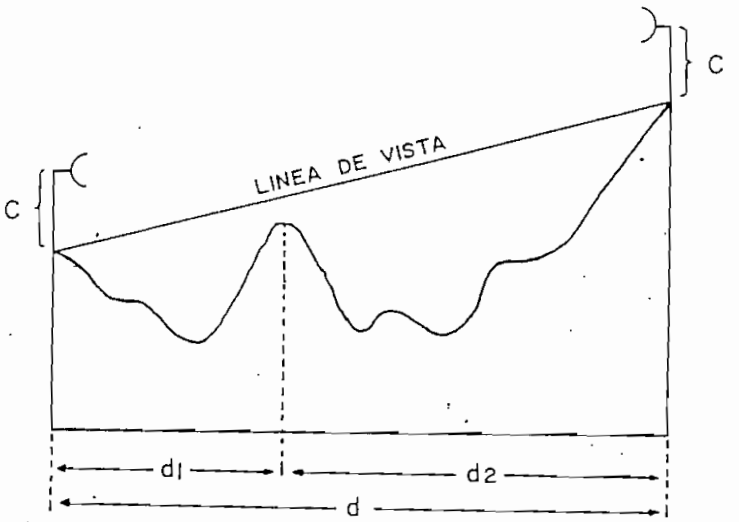


Fig. 2.- Ubicación del peor obstáculo.
d1 = d2 = d distancia total del tramo, en Km.
LINEA DE VISTA, a nivel del suelo en ambos extremos.

ANEXO 3.- Método para graficar la Primera zona de Fresnel. (Ver Fig. 3).

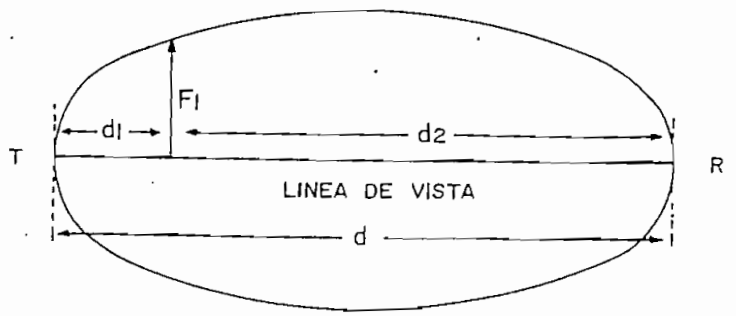


Fig. 3.- Gráfico de Primera zona de Fresnel.

$$F1 = 548 \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{f \cdot d}} \quad (m) \qquad \text{ec. (18)}$$

F1, radio de la primera zona de Fresnel, en cualquier punto a lo largo de la línea de vista.

d1, d2 y d = d1 + d2 en Km.

f = frecuencia de trabajo en MHz

ANEXO 4.- Cálculo de Atenvación por obstáculos Az en dB

Se pueden presentar dos casos. Uno cuando el obstáculo, se atraviesa en mitad de la trayectoria (Fig.6), y dos, cuando el obstáculo se presenta aledaño a los extremos del tramo. (Fig. 7).

En ambos casos, el parámetro Δh, que no es más que la distancia vertical desde la línea de vista hasta el punto más sobresaliente del obstáculo. Δh será negativo, si la línea de vista se encuentra bloqueda por el obstáculo (Ver Fig. 4), y Δh será positivo si la línea de vista se encuentra despejada, pero la primera zona de Fresnel obstruída. (Ver Fig. 5).

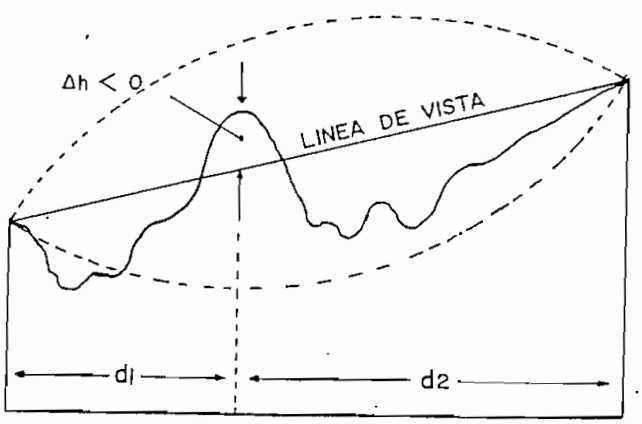


Fig. 4.- Línea de vista bloqueada.

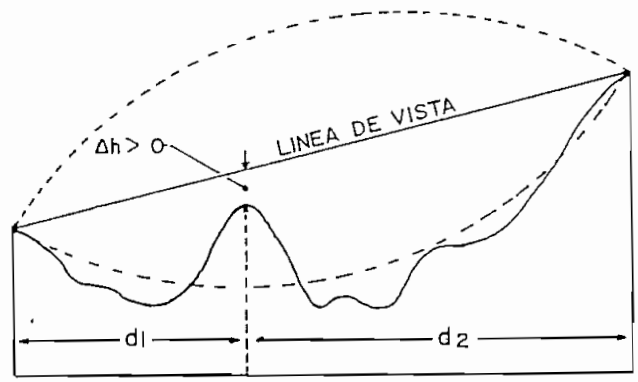


Fig. 5.- Línea de vista despejada, primera zona de Fresnel obstruída.

Dependiendo de cualquiera de los dos casos, una vez establecido el valor de $\pm$ Δh, y con ayuda de los gráficos Fig 6 y 7, se ubica este valor y las distancias d, d1 y d2, como sea el caso, y en el eje de las ordenadas se ve el valor de la atenvación debida a obstáculos Az en dB.

En el segundo caso (Fig. 7), el valor de Δh, puede superar a los valores existentes..p. ej.
Δh = + 40 m. En este caso, se procede a calcular la distancia reducida d' así:

$$d' = \frac{4\ d1.d2}{d}. \quad (Km) \qquad \text{ec. (19)}$$

y con el valor de d' y Δh, se procederá a valorar Az, utilizando los gráficos del caso número uno. (fig. 6).

ANEXO 5.- Cálculo de los decíbelios de desvanecimiento que hay que restar al valor de la realción señal a ruido S/R.

En la Fig. 8, se ubica en las ordenadas el valor del porcentaje de tiempo (20/n% ó 0.0112/n%, n = número de tramos) y el va-

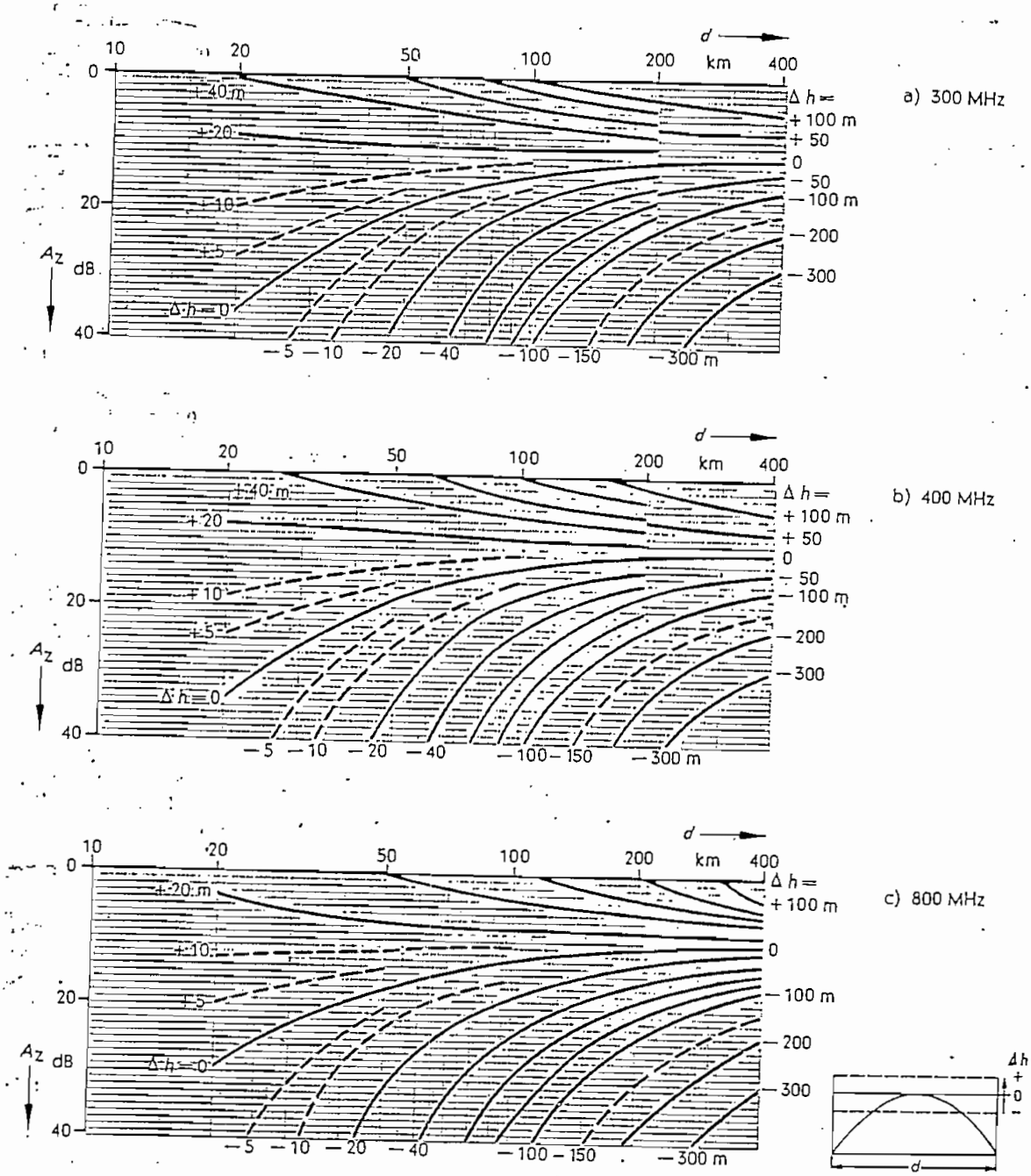


FIG. 6.- Curvas para evaluar la atenuación adicional por obstáculos At en dB, cuando el obstáculo se atravieza en medio del trayecto.

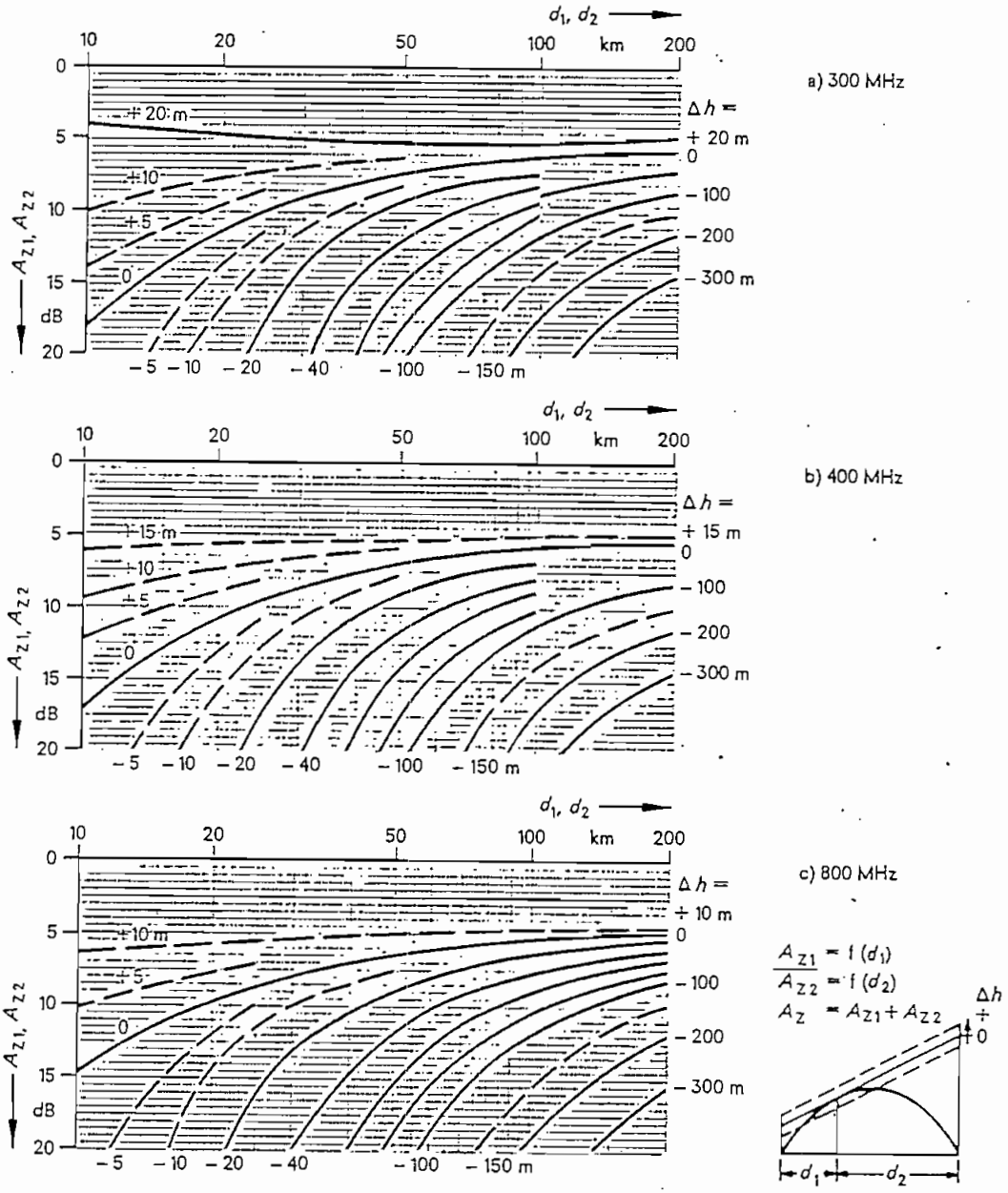


FIG. 7.- Curvas para evaluar la atenuación adicional por obstáculos Az en dB, para el caso en que el obstáculo se atraviese cerca a los extremos del trayecto.

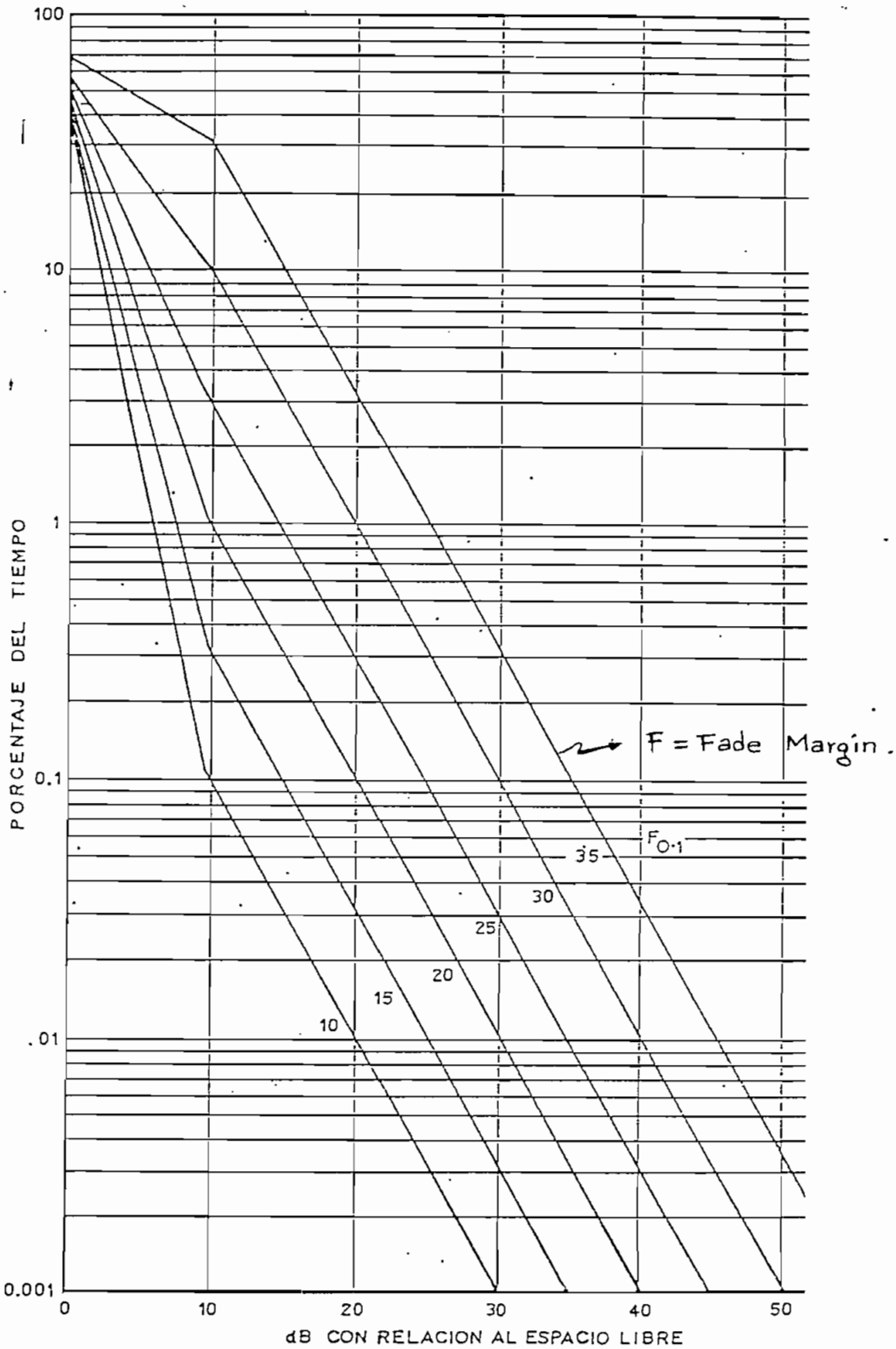


FIG. 8.- Curvas para evaluar los decibrelios que hay que restar al valor de la relación señal a ruido S/R del peor tramo (aquel que posee mayor FADE MARGIN).

NOMENCLATURA

Utilizada en el cálculo del radioenlace en la banda de UHF

at	:	atenuación neta del trayecto en dB.
At	:	pérdidas del trayecto en dB. ec. 12
Ac	:	atenuación debida a cables coaxiales en dB. ec. 3
Af	:	atenuación debida a filtros separadores en dB.
Ao	:	atenuación debida al espacio libre en dB. ec. 4 y 5
Az	:	atenuación debida a presencia de obstáculos en dB.
C	:	clearance, para altura de torres en m. ec. 1
d	:	distancia de cada tramo del radioenlace en Km.
f	:	frecuencia de trabajo en MHz.
F1	:	radio de la primera zona de Fresnel en m. ec. 18
F	:	margen de desvanecimiento (FADE MARGIN) en dB. ec. 9
Gant	:	ganancia de antenas transmisión + recepción en dB ec.10
h	:	abultamiento de la superficie terrestre en m. ec. 17
Ht	:	altura de torre en m.
K	:	factor de abultamiento de la tierra S.U.
L	:	distancia total de todo el radioenlace en Km.
Lc	:	longitud de cable coaxial en m.
Nrx	:	nivel de recepción en dBm. ec. 13
Ptx	:	potencia de transmisión en w ó dBm. ec. 7
Prx	:	potencia de ruido térmico por tramo en pw ec. 16
Prxt	:	potencia de ruido total del radioenlace por pw.
Prxt CCIR	:	potencia de ruido permitido por el CCIR en pw. ec. 15
Rto	:	rendimiento del radioenlace en tanto por ciento.
Sv	:	valor del sistena en dBm.
s/R	:	relación señal ruido en dBm. ec. 14
Undp	:	probabilidad de falla del radioenlace s.u. ec. 8
Urx	:	umbral del receptor (sencibilidad) en dBm.
λ	:	longitud de onda en m. ec. 2
d'	:	distancia reducida en Km. ec. 19

NOTA : S.U. = sin unidad.

METODO PARA CALCULAR EL "VALOR DEL SISTEMA" (SV)

El Valor del Sistema, es un parámetro independiente de las pérdidas del trayecto, su valor numérico es calculado valiéndose de datos provenientes de especificaciones técnicas de los fabricantes, y ciertos valores especificados por el CCITT y el CCIR. En consecuencia, el valor del Sistema, dependerá básicamente de las características técnicas del equipo que vaya a emplearse.

El Valor del Sistema, se lo calcula con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$Sv = Ptx - 10\log KTB + 20 \log \frac{\Delta f}{f_{BB}} - FR + 6.5 \quad \text{en dB}$$

en donde: Ptx = potencia de transmisión en dBm

K = $1.38 \cdot 10^{-23}$ julios/°K, Kte Boltzman

T = temperatura absolutade antena receptora en grados Kelvin.

B = 3.1 KHz, ancho banda de un canal telefónico

Δf : = desviación de frecuencia en KHz
= 35 KHz para 12 canales telf.
= 35 " " 24 " "
= 50-100-200 para 60 y 120 canales
= 200 para 300-600 y 960 canales
= 140-200 para 1260 canales
Según recomendación 404-2 Vol, IV del CCIR

f_{BB} : = frecuencia más elevada en la banda base, expresada en KHz
= 98 KHz para 12 canales
= 98 " " 24 "
= 270 " " 60 "

FR : figura de ruido del receptor en dB

$\leq$ 3.5 dB para 12,24 y 60 canales

$\leq$ 7.0 dB para más de 60 canales

datos de fábrica de equipo de radio.

Como ejemplo de cálculo, evaluaré el Valor del Sistema, para un sistema de 24 canales y una potencia de transmisión de 10 wa - ttios. (40 dBm).

Asumiré una temperatura de T= 27°C, o lo que es equivalente a T=273 + 27 = 300 °K, por lo tanto, el segundo término de la ecuación que calcula el Sv, valdrá:

$10 \log KTB = 10 \log 1.38 . 10^{-23} . 300 . 3.1$

$= - 169$ dBw

$= - 139$ dBm valor que reemplazado en la ecuación general da:

$$Sv = 40 + 139 + 20 \log \frac{35}{39} - 3.5 + 6.5$$

Sv = 173 dB, valor que está acorde a lo que el fabricante recomienda utilizar.

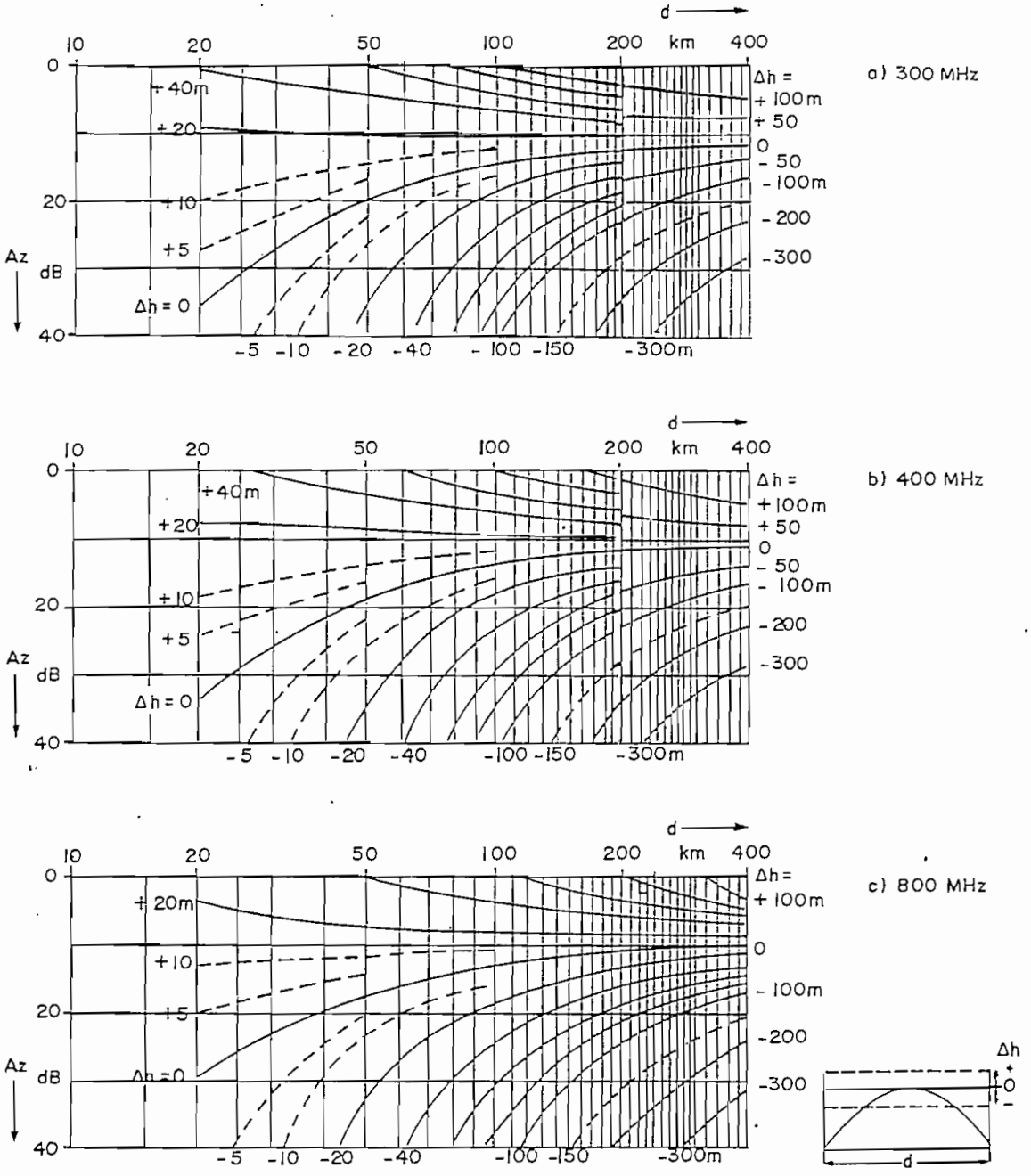
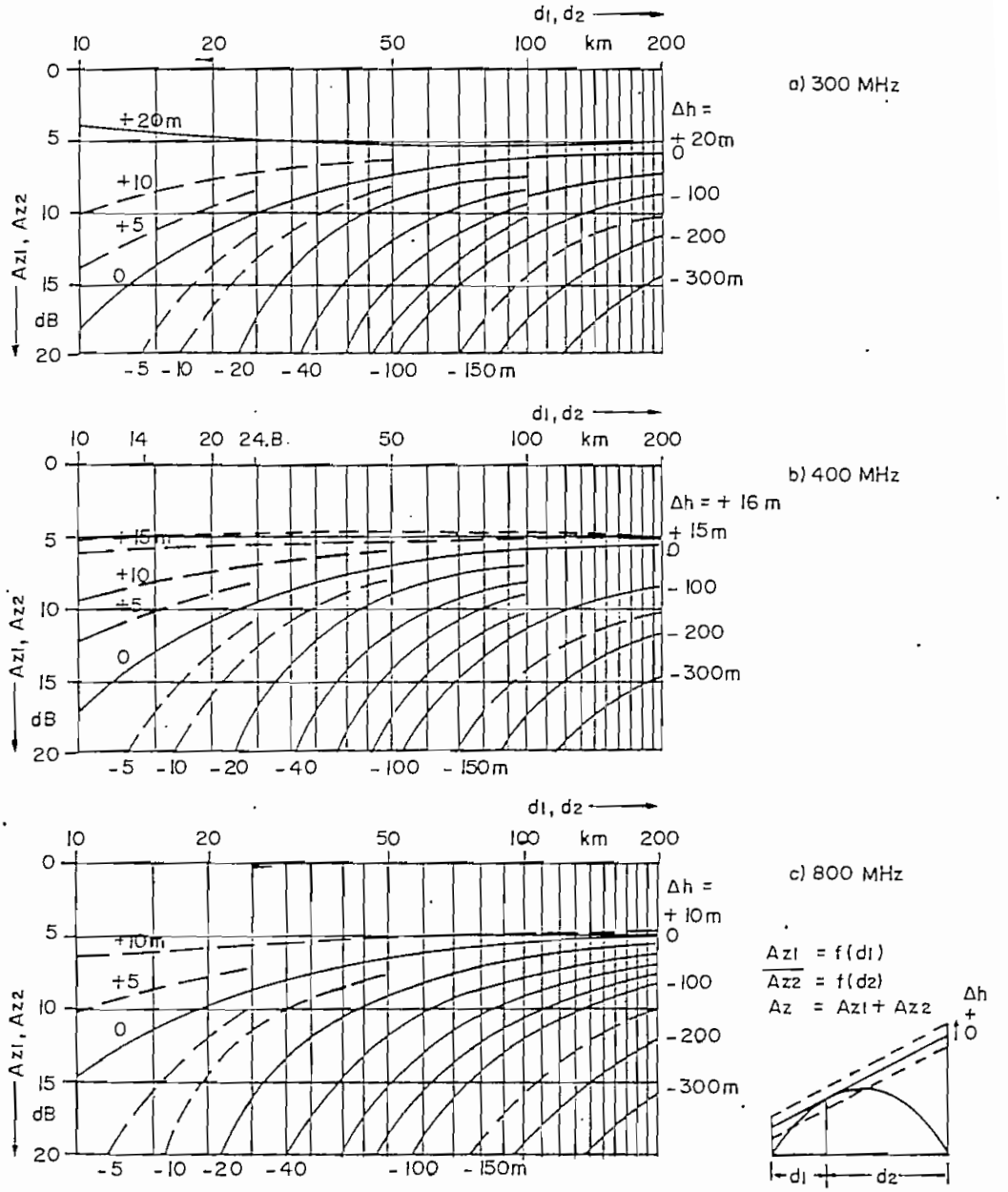


Fig. 6 Gráfica para evaluar la atenuación adicional Az en dB, cuando el obstáculo, se encuentra en medio del trayecto



Azl = f(14 Km) = 5dB

Azz = f(24,8 Km) = 5dB

Az = Azl + Azz = 10dB para tramo Monteverde - Cerro Gonzalez

Fig. 7 Gráfico para cálculo de atenuación adicional por obstáculos Az en dB, cuando el obstáculo no se encuentra en medio del trayecto

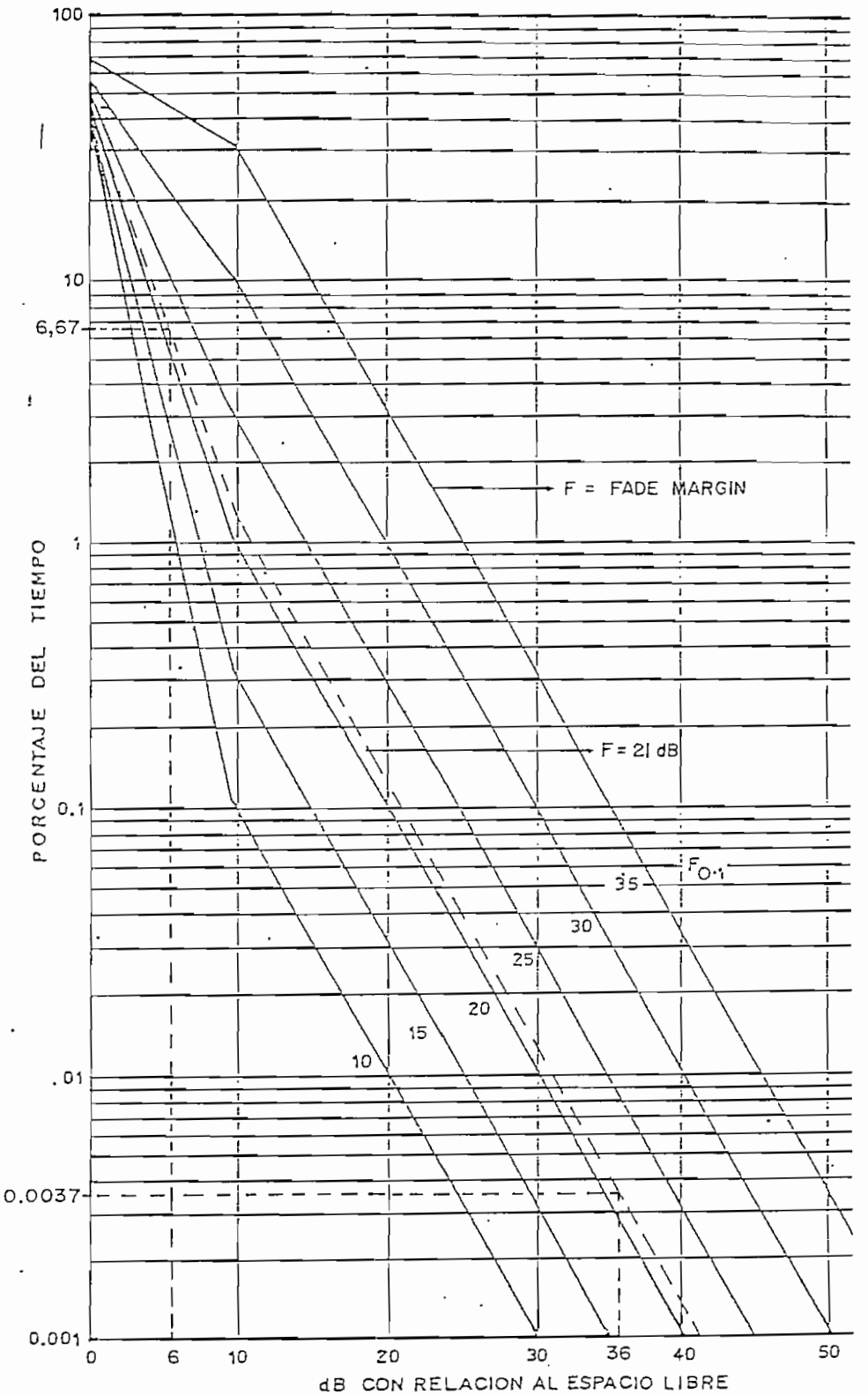


Fig. 8 Gráfico para evaluar, los decibelios que hay que restar al valor de la relación Señal a - Ruido S/R.

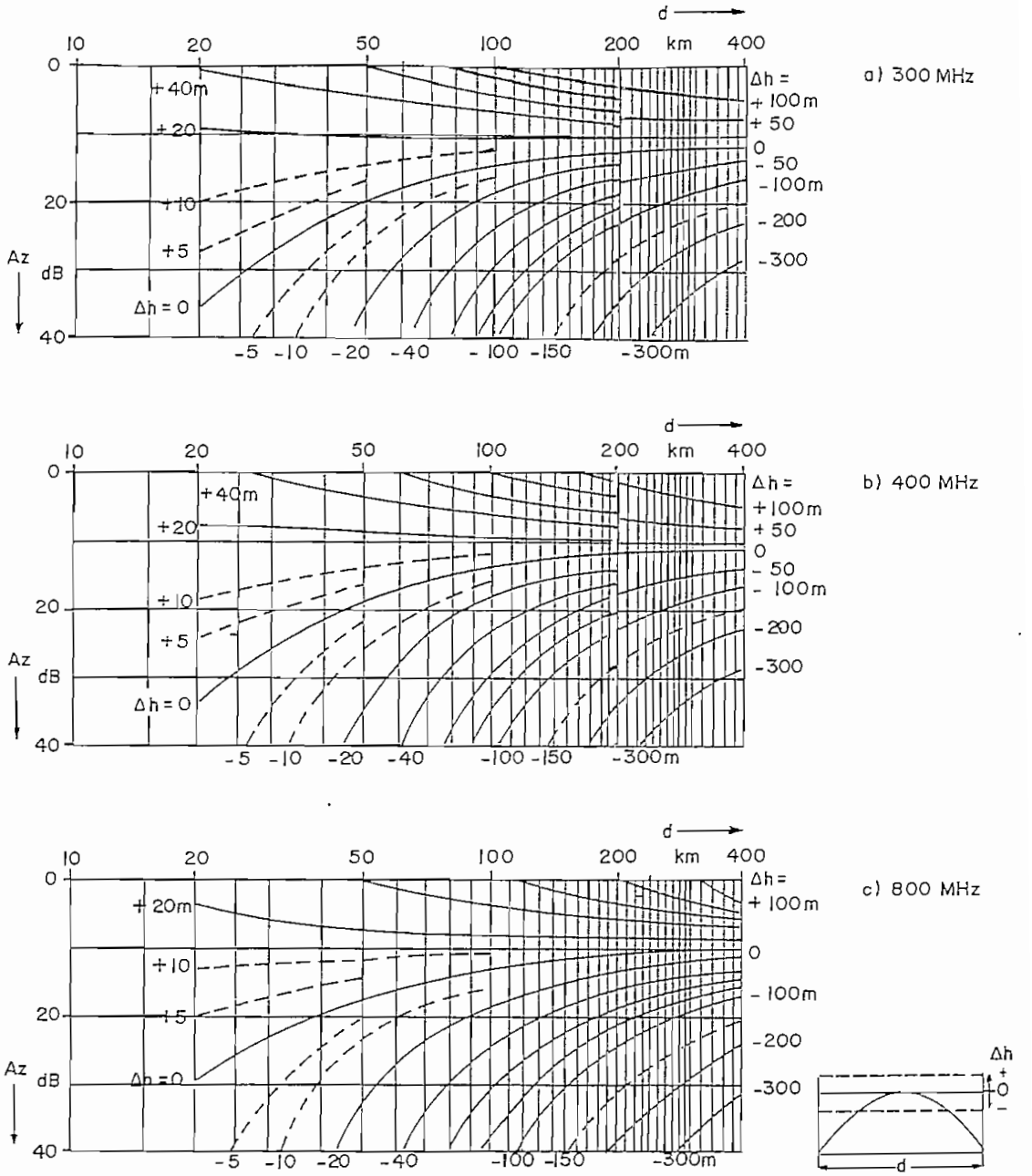
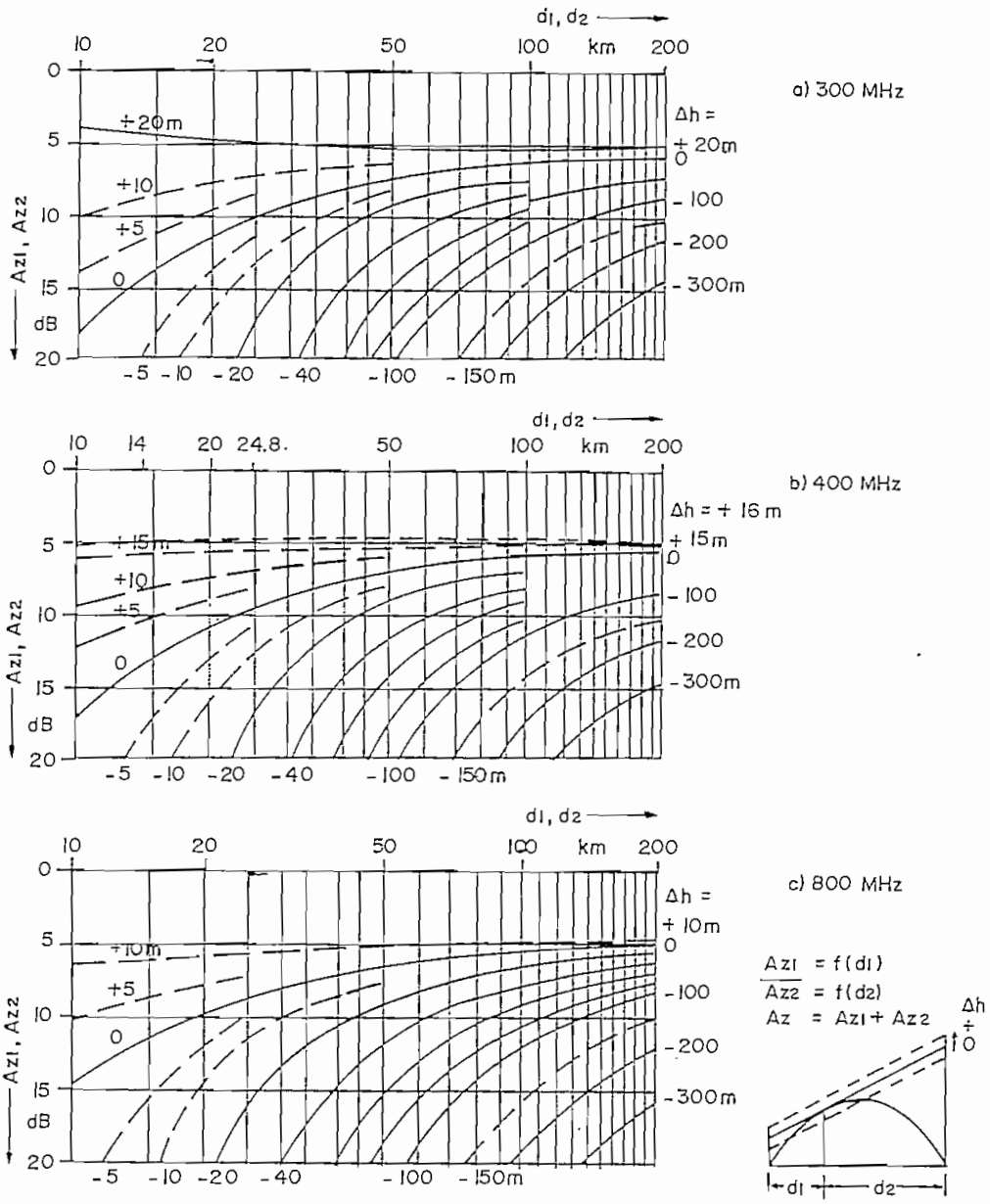


Fig. 6 Gráfico para evaluar la atenuación adicional Az en dB, cuando el obstáculo, se encuentra en medio del trayecto



Az1 = f(14 Km) = 5dB

Az2 = f(24,8 Km) = 5dB

Az = Az1 + Az2 = 10dB para tramo Monteverde - Cerro Gonzalez

Fig. 7 Gráfico para cálculo de atenuación adicional por obstáculos Az en dB, cuando el obstáculo no se encuentra en medio del trayecto

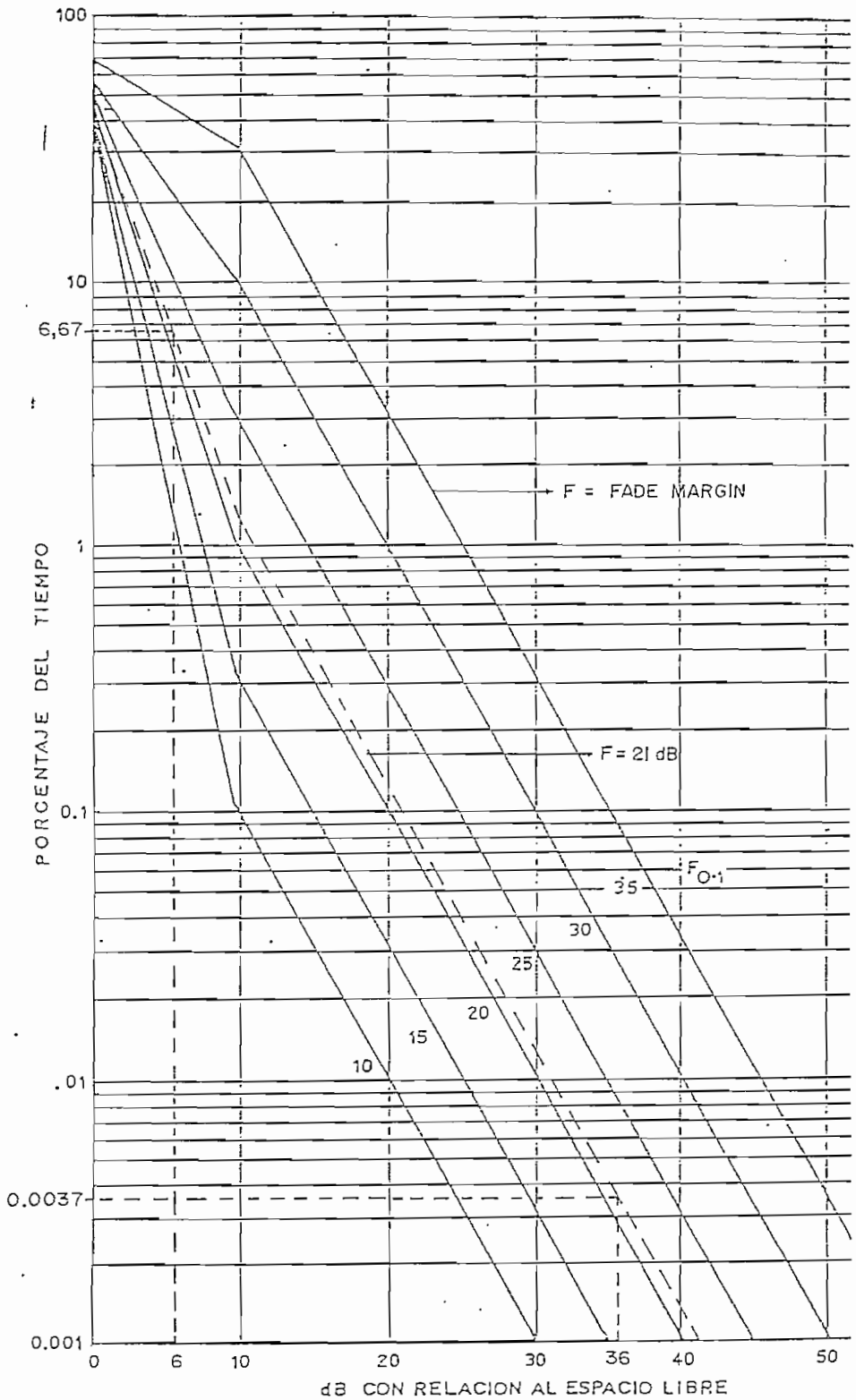
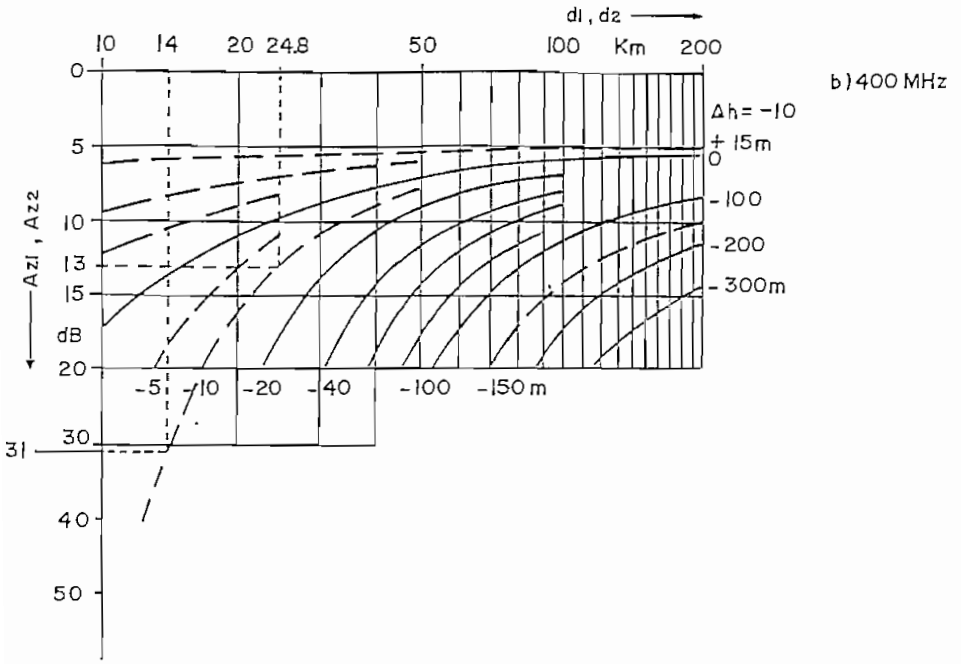


Fig. 8 Gráfico para evaluar, los decibelios que hay que restar al valor de la relación Señal a - Ruido S/R.



Utilizando el perfil Fig. 9 se mide $\Delta h = -10\,m$, por tanto:

$Az_1 = f(14\ Km.) = 31\,dB$

$Az_2 = f(24.8\ Km.) = 13\,dB$

$Az = Az_1 + Az_2 = 44\,dB$

Por error de apreciación, nos aseguramos escogiendo un valor de:

$Az = 45\,dB.$

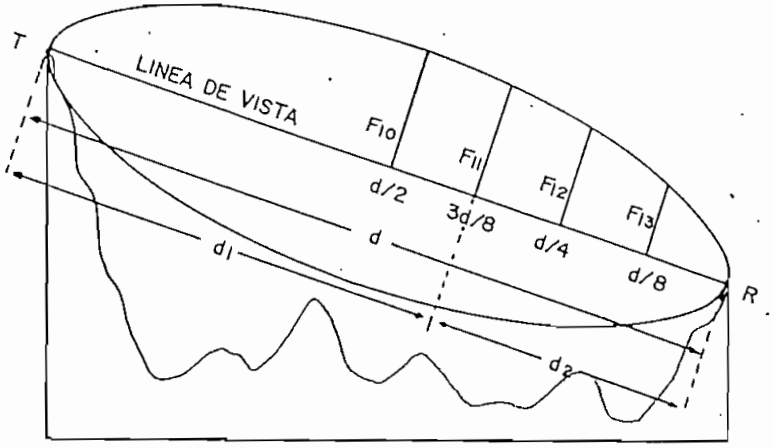
Fig. 10 Gráfico para evaluar la atenuación adicional por obstáculos, para el tramo Manteverde — Cerro - Ganzalez.

TABLA 1 COTAS DE NIVEL PARA ELABORACION DE PERFILES

MONTV./ GONZALEZ		C. GONZALEZ/C. AZUL		C. AZUL/PASCUALES	
d (Km)	cota(m)	d (Km)	cota(m)	d (Km)	cota(m)
0.0	0	0.0	265	0.0	465
1.5	55	0.5	150	0.5	300
2.5	45	1.0	90	1.0	200
3.0	70	2.5	50	1.5	100
4.0	10	5.0	30	2.0	80
5.5	50	10.0	50	2.5	50
8.5	10	11.0	105	3.5	80
12.0	105	14.5	120	4.5	150
13.0	95	15.5	80	5.0	100
14.0	125	16.5	130	6.0	80
16.0	95	19.0	100	7.0	90
17.0	120	22.5	140	8.5	50
18.0	90	25.0	120	9.0	80
19.5	160	27.0	60	9.9	40
22.0	120	29.0	40		
22.5	140	31.0	200		
23.5	100	35.0	80		
24.5	120	39.0	120		
26.0	60	44.0	100		
27.0	50	49.0	60		
30.0	30	52.0	70		
31.0	25	58.5	100		

TABLA 2 RADIOS DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL PARA GRAFICAR LAS ELIPSES

RADIO F_1 (m)	MONTEV./C.GONZALEZ	C.GONZALEZ/C. AZUL	C.AZUL/PASCUALES
F1 0	86.5	107.0	49.0
F1 1	83.5	103.5	47.5
F1 2	75.0	92.5	42.5
F1 3	57.0	70.5	32.5



Por ejemplo: $F11 = 548\sqrt{\frac{d1.d2}{f \cdot d}}$ (m)

d1, d2 y d en Km

f = 450 MHz para todos los proyectos

$d1 = \frac{3d}{8}$ Km ; $d2 = \frac{5d}{8}$ Km

BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

- Planning and Engineering of Radio Relay Links.
  H. Brodhage, W. Hormuth, SIEMENS
  7 th. Edición Mayo 1968
  8 th. Edición 1976

- Engineering Considerations for Microwave
  Communications Systems, GTE LENKURT
  Junio de 1970

- Reliability in Microwave Communications Systems.
  "Prediction and Practice", GTE LENKURT
  Junio de 1970.

- Selected Articles from the GTE
  LENKURT DEMODULATOR Vols. 1, 2 y 3.
  Ultima edición 1976.

- Cálculo de Radioenlaces de Microondas
  C.T.N.E. (Centro de Telefonía Nacional de España).
  Editado por el IETEL, Febrero de 1970.

- Cálculo de Repetidores Pasivos
  C.T.N.E., Editado por el IETEL.
  Diciembre de 1972

- Introducción a los Sistemas de Microondas,
  Ing. OMAR POSADA, Experto de la UIT.
  Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica,
  Agosto 1969.

- Introducción a la Planificación de Enlaces de Microondas, Ing.
  HEINRICH KUNST, Experto de la U.I.T., Dirección General de Tele
  comunicaciones, Septiembre 1970.

- MANUAL DEL GAS 3

- Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes.
  EDWARD C. JORDAN., Segunda Edición 1978.

FOLLETOS Y CATALOGOS:

- Conceptos Básicos para la Optimización de los Sistemas de Micro ondas MDF/FM, Cuartas Jornadas Andinas de Telecomunicaciones.
  ASETA - IETEL, 16 al 20 de nov. 1981.
  Quito-Ecuador.

- Telecomunicaciones Rurales, IETEL
  Quito, Febrero de 1981.

- Apuntes de la Materia: Sistemas de Microondas dictada por el Dr. KANTI HORE.

- Antenna Systems, ANDREW,
  Catálogo 32.

- Antenna and Filter Systems 30 - 1000 MHz.
  DECIBEL PRODUCTS Inc., Catálogo No. 20A.

- Professional Communications, ANTENNA SPECIALISTS Co.

- Antennas and Electronics Division,
  Product Information, JAYBEAM LIMITED.

- Towers and Masts, Commercial Productos, Rohn.

- Especificaciones Técnicas de Equipos de Radio de:
  NERA (Asociado de la Ericsson), NEC, MOTOROLA, AWA, ARE, etc.