

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
ELECTRICA Y ELECTRONICA**



## **DISEÑO DEL ENLACE CHIMBOTE - CAÑÓN DEL PATO VIA MICROONDAS PARA HIDRANDINA S. A.**

**T E S I S**

**Para optar el Título Profesional de  
INGENIERO ELECTRONICO**

**WILLIAM RONALD AYASTA RODRIGUEZ**

**PROMOCION 1982 - 1**

**Lima - Perú  
1986**

## INDICE

RESUMEN GENERAL	1
CAPITULO I : DESCRIPCION DE LA ZONA DEL PROYECTO	
1.1 Generalidades	3
1.2 Descripción geográfica	5
1.3 Medios actuales de comunicación	7
1.4 Ventajas de la instalación del Enlace Chimbote-Cañón del Pato	9
1.4.1 Para la Empresa Hidrandina	9
1.4.2 En el desarrollo socio-económico de los pueblos	11
1.5 Objetivos del enlace frente a la problemática actual	13
1.6 Limitaciones del sistema existente	14
CAPITULO II ANALISIS DEL PROYECTO	
2.1 Definición del proyecto	17
2.2 Determinación de la ruta	18
2.3 El sistema de multiplex	22

./.

2.3.1	Para el tráfico telefónico	25
2.3.2	Para el tráfico telegráfico	26
2.3.3	Para el tráfico de datos y facsimil	27
2.4	Adopciones del sistema	28
2.4.1	Terminales	29
2.4.2	Repetidoras	29
2.5	Interconexión con la Red Troncal de Microondas	30

### CAPITULO III DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDAS

3.1	Diseño del tramo Chimbote - Cañón del Pato	31
3.2	Plan de ruta	34
3.2.1	Características de ubicación de las antenas	34
3.2.2	Determinación de las alturas de las antenas	36
3.2.2.1	Condiciones para la determinación de las alturas de antenas	38
3.2.2.2	Zonas de Fresnel	39
3.2.2.3	Factor K	40
3.3	Plan de frecuencias	41
3.3.1	Asignación de frecuencias	41
3.3.2	Polarización	41
3.4	Análisis de la Onda Reflejada	41
3.5	Atenuación de la onda reflejada por obstáculo	45
3.5.1	Altura efectiva del obstáculo	46
3.5.2	Radio de la primera Zona de Fresnel en el obstáculo	47

./.

./.

3.6 Diferencia de trayecto y tiempo de retardo entre las ondas directas y reflejadas	48
--	----

#### CAPITULO IV DISEÑO DE LAS ANTENAS TRANSMISORA Y RECEPTORA

4.1 Diseño del sistema de antenas	50
4.2 Factores que deciden el tipo de antenas	55
4.2.1 Atenuación del espacio libre	57
4.2.2 Atenuación por línea de alimentación	58
4.2.3 Atenuación por obstáculo	58
4.2.4 Atenuación por filtro y circuladores	59
4.2.5 Potencia de transmisión	60
4.2.6 Potencia de recepción	61
4.2.7 Ganancia de antena	62
4.3 Cálculo de las dimensiones del reflector	63
4.4 Diseño del sistema de diversidad de espacio	65
4.5 Especificaciones técnicas de las torres para soporte de antenas	67

#### CAPITULO V ANALISIS DEL RUIDO EN LA TRANSMISION

5.1 Estimación del ruido promedio	69
5.1.1 Ruido térmico	69
5.1.2 Ruido de interferencia	75
5.1.3 Ruido de intermodulación	79
5.1.4 Interrupción por desvanecimiento	79
5.1.5 Influencia del desvanecimiento en la confiabilidad de los sistemas de relevadores radioeléctricos	81
5.1.6 Margen de desvanecimiento	82

./.

./.

5.2	Mejoramiento por interrupción	84
5.3	Evaluación de la calidad de transmisión	84
5.4	Confiabilidad del sistema de propagación	88
5.5	Confiabilidad del sistema de energía	88

## CAPITULO VI EQUIPOS Y CANALIZACION

6.1	Equipos a emplearse en el sistema	89
6.2	Conformidad de radioenlaces	89
6.2.1	Canal principal y reserva	90
6.2.2	Sistema de supervisión y control	90
6.2.3	Sistema multiplex	91
6.2.4	Sistema de energía	93
6.2.5	Torres de antena	94
6.3	Características de los equipos de microondas	95

## CAPITULO VII ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

7.1	Generalidades	97
7.2	Evaluación de costos del proyecto	97
7.2.1	Costos de los equipos y demás componentes	97
7.2.2	Costos del equipamiento e instalación	99

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
--------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	103
--------------	-----

./.

./.

## ANEXOS

- A. Resultado de los cálculos de los enlaces de radio
- B. -Altura de torres y alimentación de antenas  
-Cuadro resumen de alimentación a las estaciones
- C. Ejemplo de aplicación  
Enlace por microondas entre el Cº Ulto Cruz y el Cº Tambo Real
- D. -Planos geográficos, perfiles topográficos  
-Esquemas (Dibujos)  
-Cuadros

## RESUMEN GENERAL

Este proyecto tiene por finalidad integrar por medio del Sistema de Microondas la C.H. Cañón del Pato y la S.E. Chimbote N°1.

El sistema propuesto permite satisfacer los requerimientos inmediatos de comunicación proyectándose a un futuro mediano, contando con la factibilidad de implementar los servicios de telefonía, télex, facsimil y transmisión de datos.

El sistema completo se ha desarrollado con las premisas de brindar un servicio eficiente, seguro, claro y sobre todo confiable.

La Red de Comunicaciones propuesta en este proyecto, consta de equipos de 60 canales trabajando en la banda de 2.2 GHz.

Los equipos de comunicaciones son tal que de acuerdo a las características técnicas que se especifican permitirán efectuar la interfase a centrales telefónicas privadas o centrales telefónicas públicas, manuales, semiautomáticas o electrónicas.

Para el suministro de energía a estaciones del sistema integral en

./.

puntos donde no se cuenta con energía eléctrica convencional y comercial, se ha tenido en cuenta el uso de Sistemas de Energía Solar, debido a su alta confiabilidad y sus limitados requerimientos de mantenimiento preventivo y el no requerir combustible hacen que los costos de operación de este tipo de planta sean muy bajos. La desventaja de este tipo de suministro es que la inversión inicial es elevada y de acuerdo a la capacidad demandada, el costo varía directamente; pero, debe tenerse en cuenta que este tipo de planta reduce los costos de operación y evita los elevados costos de inversión y mantenimiento de infraestructura de las estaciones, además tiene la ventaja de uso en estaciones remotas, ubicadas a mucha altura donde la eficiencia de los grupos generadores Diesel es baja y el costo de adaptación es significativo.

.....  
.....

CAPITULO I  
DESCRIPCION DE LA ZONA DEL PROYECTO

1.1 Generalidades

En la actualidad las comunicaciones constituyen una actividad que progresivamente se desarrolla en acorde a los adelantos de la Ciencia y Tecnología Electrónica.

Ultimamente las comunicaciones han sido desarrolladas altamente en su Técnica, tal es así que para las redes de comunicación nacional se está usando los sistemas UHF y Microondas y para distancias grandes se está utilizando la vía satélite, gracias a ello hoy día es en nuestro país un pilar sobre el cual se desarrollan los planes socio-económicos del país.

Entre los diferentes medios de transmisión terrestre las microondas constituyen un lugar singular, observando las principales ventajas en eficiencia y el costo comparando con otros medios ( líneas de transmisión ). Razón por el cual resalta la importancia dentro del establecimiento de una red de micro-ondas y los enlaces que generan gran eficiencia a un bajo costo.

Realizando una consideración según lo expresado anteriormente y con el objetivo de obtener las mejores ventajas, se realiza el presente diseño del sistema de Enlace Central Hidroeléctrica Cañón del Pato Sub Estación Chimbote 1; de acuerdo a las diferentes normas dadas por el Comité Consultivo Internacional de Radio Comunicaciones ( C.C.I.R. ) y a los últimos adelantos técnicos existentes.

Se ha elegido a la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato por ser una de las Centrales Hidroeléctricas más importantes del país, esta Central cuenta con una potencia instalada del orden de los 150 Mwatts. Desde este centro de Generación salen tres líneas de transmisión de 138 Kv. cada una, las mismas que llegan al centro de Distribución Chimbote 1, a su vez uno de los más grandes del Perú.

De este centro de Distribución se obtienen salidas de alimentación para diferentes ciudades tales como: Chimbote, Trujillo, Casma, etc. Actualmente se viene construyendo las salidas de la línea de transmisión con dirección a la ciudad de Chiclayo la que se interconectará con la Central Hidroeléctrica del Mantaro.

Es por la gran importancia que tienen lugar estos 2 centros es que nace este proyecto de micro-ondas con el propósito de solucionar los problemas actuales de comunicación. Aprovechando este medio de transmisión se lograrían transmisiones

de datos, telex, facsimil, etc. La transmisión de datos es de vital importancia para la operatividad del sistema cada hora se transmite información de medidas tales como: tensión, carga, frecuencia, etc. esta información es evaluada y procesada continuamente en la Sub Estación Chimbote 1, en este lugar se cuenta con un terminal de computadora.

Dado que en la actualidad Hidrandina se encuentra con la situación en que la demanda de la energía eléctrica se encuentra progresivamente es que se hace preciso dotar a la empresa de una comunicación moderna y eficiente, para optimizar más con el desarrollo administrativo y organizativo de la Empresa.

## 1.2 Descripción geográfica

El área de proyecto comprende el departamento de Ancash y se encuentra situada en la Zona Norte central del País. Explícitamente el área comprende entre la provincia de Huaylas y la provincia del Santa ( ver apéndice D ).

El centro de Distribución Chimbote N°1 situada a unos 8 Kms. al N.E. de la ciudad de Chimbote, construida sobre un suelo árido y rocoso a la vez. Este centro de Distribución fué construido en esta zona por encontrarse alejada de la zona urbana, por lo que está menos expuesta a la contaminación ambiental lo cual es importante para facilitar el mantenimien-

to de las redes de transmisión.

La Central Hidroeléctrica Cañón del Pato se encuentra en la provincia de Huaylas, situada en pleno Cañón, la central se encuentra a 1,400 m.s.m. y rodeada de picos de considerable elevación. El clima en esta región es caluroso entre los meses de Mayo a Noviembre y lluvioso en los meses de Diciembre a Abril.

La Central se encuentra muy cerca al pueblo de Huallanca, el cual tiene una pequeña población dedicada mayormente al comercio y agricultura.

La Central se interconecta vialmente con Chimbote por la antigua línea ferroviaria hoy inexistente con el terremoto de 1970; asimismo se encuentra a una hora de la ciudad de Caraz.

La geografía es muy accidentada desde la Central a Chimbote, prácticamente se cruza la Cordillera Negra, la cual toma elevaciones de más de 5,000 mts. en determinados lugares. Hidrandina S.A. ha construido trochas en determinados lugares de esta cordillera para tener acceso a las líneas de transmisión que cruzan estos picos, tal es así que por ejemplo desde la ciudad de Huaylas hasta la torre 60 de la línea de A.T. existe acceso vehicular, desde esta torre hasta la torre 82, la geografía es demasiado accidentada, por lo que no existe acceso vehicular, esto es muy importante porque gracias a estas

vías es que se ha podido hacer el estudio de campo para el siguiente proyecto.

### 1.3 Medios actuales de comunicación

En la actualidad la comunicación entre la central Hidroeléctrica Cañón del Pato y el Centro de Operaciones SECHIM 1, es a través de Onda Portadora el cual se realiza con equipos de Banda Lateral Unica ( BLU ); empleando para tal fin las líneas de transmisión de alta tensión como medio de comunicación.

El sistema de Transmisión por Onda Portadora es limitada por ser monocanal y la comunicación es de punto a punto, razón por la cual no puede extenderse la comunicación a otros centros de distribución.

De la Central Hidroeléctrica salen tres líneas de alta tensión de 138 Kv. cada una, en la primera línea denominada A - 131 existe un equipo de Onda Portadora Westinghouse a válvulas de construcción muy antigua. Este equipo tiene terminales telefónicos en los tableros de mando siendo la comunicación punto a punto, es por la antigüedad del equipo, que este equipo sufre averías continuamente con lo cual este medio es muy poco utilizado en la comunicación.

En la segunda línea denominada A - 132, se encuentra instalada un equipo de onda portadora Westinghouse a transistores el cual nunca se utilizó desde su instalación por presentar fa-

llas de fabricación.

En la tercera línea puesta en servicio en 1981, se instaló equipos terminales de onda portadora Brown Boveri, éste equipo por ser el más moderno es el único medio que se está utilizando para las comunicaciones entre ambos lugares. Este sistema de comunicación es monocanal, por lo que existe un solo abonado en la mesa de control de la Central.

Según estudios hechos por la Empresa matriz ELECTROPERU, se prevee el cambio de los equipos instalados en la línea A - 131 y A - 132 con lo que se lograrían dos canales más de comunicación.

Los actuales medios de comunicación no es posible transmitir datos, telex, etc. Con el siguiente proyecto se colocarían un mínimo razonable de abonados en ambos terminales con lo cual todos los abonados de Central Hidroeléctrica, estarían interconectados a la Red de ENTELPERU, con lo cual se lograría un tráfico considerable.

Actualmente existe un tráfico considerable de comunicaciones oficiales que se transmiten de la oficina principal de Hidrandina, situada en la ciudad de Chimbote. Este sistema de comunicación actualmente se realiza con radio en la banda de los 6 MHz, este medio de transmisión ha sido afectado últimamente debido a las explosiones solares por lo que hay días que es -

imposible la comunicación durante el día pudiéndolo sólo hacer en horas de la noche.

En conclusión los actuales medios de comunicación son deficientes, presentándose como uno de los grandes problemas de esta Empresa.

#### 1.4 Ventajas de la instalación del enlace Chimbote-Cañón del Pato:

##### 1.4.1 Para la Empresa Hidrandina:

Dado que la red Interconectada de la Región Norte Central del Perú, desarrollada fundamentalmente con el aprovechamiento hidroenergético del Cañón del Pato con el Río Santa, se ha llevado a cabo en tres etapas. Toda esta red administrada íntegramente por la Empresa Hidrandina, que se encarga de la explotación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica para todo el Norte Medio; que también abarca la línea de Transmisión 220 Kv. Chimbote - Trujillo, operando actualmente a 138 Kv. y a la línea Trujillo - Chiclayo - Piura, que da lugar al Sistema Interconectado del Norte.

Adicionalmente se completó la construcción de la Línea de Interconexión Lima - Chimbote, con lo cual se tiene conformado el sistema Interconectado a 220 Kv. a nivel nacional.

Por lo mencionado esta Empresa "Hidrandina" es de gran envergadura por lo que las ventajas que han de derivarse por la implementación del sistema de comunicaciones Central Hidroeléctrica Cañón del Pato - Chimbote; serán de mucha importancia sobre todo para superar los problemas que actualmente persisten y que según lo mencionado en la sección 1.2; la comunicación entre estos dos puntos neurálgicos se realiza empleando onda portadora con equipos de banda lateral única, empleando la línea de transmisión de alta tensión como medio de comunicación. El cual posee una atenuación apreciable; además que la comunicación es monocanal y punto a punto por lo que no se puede comunicar con otras centrales.

Ante el panorama descrito superficialmente en el presente proyecto del Sistema de Transmisión de Cañón de Pato - Chimbote, las micro-ondas es la solución más óptima para mejorar notablemente; porque la transmisión será multicanal (60 canales mínimos) el cual puede permitir la transmisión de servicios telefónicos, datos, facsimil, etc. Además que se puede ampliar el área de cobertura de la comunicación al integrarse a la red nacional de micro-ondas, y por consiguiente mantener la comunicación con la mayor cantidad de centrales hidroeléctrica y Sub Estaciones.

En el plano técnico la transmisión supera los inconven-

nientes de atenuación por línea de transmisión, el mantenimiento, etc. y sobre todo por la calidad de transmisión con una máxima fidelidad y eficiencia. Con lo cual Hidrandina contará con un recurso muy importante para proyectar su área de servicio, asimismo sugestión administrativa y técnica del suministro de la energía eléctrica para muchas ciudades del Norte Medio de nuestro país; el cual incide en el desarrollo y progreso de la nación.

#### 1.4.2 En el desarrollo socio-económico de los pueblos

En los últimos años se puede decir que el país ha tomado un nuevo camino orientado a mejorar los servicios de comunicaciones existentes, a fin de permitir el desarrollo armónico e integral de sus servicios, que facilite a su vez el desarrollo socio-económico de los pueblos y la nación, ya que antes las telecomunicaciones no cumplían con los fines de promoción social y desarrollo.

Aún más identificados con la necesidad de mejorar, modernizar y ampliar las telecomunicaciones como medio de apoyo para el cambio de infraestructuras económicas y sociales en que está empeñado el actual gobierno; se ha visto conveniente llevar adelante la presente tesis que sirva como fundamento del cálculo y evaluación de

inversiones necesarias para su implementación.

Realizando la observación de prioridad y el ritmo de progreso que fija el Plan Nacional de Telecomunicaciones llega el momento de integrar a muchos sectores que comprenden varios pueblos y ciudades del vasto territorio nacional, a una gran red de comunicaciones, cuya columna vertebral es la red troncal nacional de Micro-ondas. En este caso, es la región comprendida en el departamento de Ancash, la que se quiere integrar mediante un enlace de la repetidora de Chimbote, que llegue a Caraz, Carhuaz, recogiendo las necesidades de los pobladores que habitan en las unidades intermedias; la cual será un proyecto posterior a la realizada en el presente proyecto el enlace Cañón del Pato - Chimbote, la cual es una necesidad primaria para la Empresa Hidrandina.

Sintetizando; la esencia positiva de las micro-ondas está en la dotación de las principales ventajas tanto en su eficiencia como en el costo comparando con otros medios. Y la interconexión que abarca los diferentes pueblos, ciudades nacionales e internacionales, que intensiva el desarrollo industrial, comercial y social de las ciudades; para nuestro caso la región norte del país.

### 1.5 Objetivos del enlace frente a la problemática actual

La experiencia recogida en el desarrollo e implantación de los equipos de control y telecomunicaciones en el Sistema Interconectado de la Región Central del País, ha mostrado que un planeamiento conveniente de los mismos es de suma importancia por que ello incide en la continuidad de operación de las instalaciones y en la economía de su equipamiento.

Tradicionalmente, las soluciones que se adoptan para el equipamiento de los servicios de control y de telecomunicaciones en las diversas etapas de un desarrollo eléctrico, tienden a resolver las necesidades de la etapa o tramo específico sintomando en cuenta, muchas veces, los desarrollos futuros y más aún su interconexión con otros sistemas.

La situación mencionada se ha experimentado en el Proyecto Mantaro y ha obligado a reemplazarlos de equipos de bloqueo de alta frecuencia, tales como las trampas de onda, debido a la necesidad de atender a nuevos canales.

En lo que se refiere a la Telefonía, la demanda de comunicaciones con las nuevas instalaciones, la necesidad de flexibilizar las comunicaciones telefónicas, y por último, la centralización de las comunicaciones en la sede del centro de despacho en San Juan, han requerido que se reemplace algunas centrales existentes por otras de mayor capacidad, obligando a reinstalar algunas de ellas en diferentes lugares donde se les pueda

dar mejor utilización.

De manera similar a lo mencionado, se puede decir con respecto a los equipos de teletransmisión para las tareas de control. Estos equipos, al completarse al sistema Interconectado, formarán un conjunto relacionado estrechamente con el control central, por lo que debe tomarse en cuenta la previsión de los dispositivos de adaptación y convertidores de medida, las facilidades y posibilidades de ampliación de los equipos de teletransmisión que se prevean en cada instalación, su relación con otras instalaciones de nivel superior, de tal modo que su integración final sea llevado a cabo sin dificultades y con el mínimo de cambios posibles.

Por las razones mencionadas que se han expuesto, se orienta este estudio a la planificación de las telecomunicaciones del Sistema Interconectado de la Región Norte del Perú - Tramo Cañón del Pato - Chimbote, así como el de dar las pautas de Ingeniería, acorde al nivel de un estudio avanzado de las microondas.

#### 1.6 Limitaciones del sistema existente

Por lo mencionado en los incisos 1.3 y 1.4.1 del presente capítulo, la comunicación existente y la transmisión entre la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato y el Centro de Distribución SECHJM 1 - CHIMBOTE pertenecientes a la Empresa HIDRANDI

NA S.A.; se realiza por onda portadora con equipos de banda lateral única ( BLU ) empleando las líneas de alta tensión como medio de comunicación.

Este sistema por onda portadora tiene sus propias limitaciones; en primer lugar por ser monocanal ( un sólo canal de Transmisión ) y la comunicación es sólo de punto a punto, no pudiendo extender la comunicación a los otros centros de distribución.

Otro de los problemas que se afronta constantemente y se necesita una solución urgente es lo relacionado al mantenimiento de las líneas de alta tensión ( A.T. ), que a su vez está compuesto por tres ( 3 ) líneas de 138 Kv.

Estas líneas necesitan un mantenimiento persistente para lo cual se cuenta con vehículo especial para recorrer los caminos accidentados de esta zona; estos vehículos cuentan con equipos de radio de BLU de 100 w. y operan en frecuencia de 6,332 MHz., estos transceptores son de baja confiabilidad porque están supeeditados a las condiciones atmosféricas y las horas del día, lo cual induce que en determinadas horas la comunicación es completamente deficiente originando muchas desventajas en las coordinaciones de apertura y cierre de las líneas energizadas.

Tomando en cuenta que cada cierto tiempo se deben transmitir datos; la situación realmente se empeora, tornándose en muchas dificultades.

Por lo que el presente proyecto se realiza para cambiar del sistema de transmisión convencional por el sistema de micro-on das; el cual nos ofrece las innumerables ventajas descritas anteriormente; entre ellas la interconexión a nivel regional, nacional e internacional; específicamente con la ciudad de Trujillo, donde se encuentra la sede principal de la Empresa HJ-DRANDINA S.A.

## CAPITULO II

### ANALISIS DEL PROYECTO

#### 2.1 Definición del proyecto

La creciente demanda de energía eléctrica en la zona Norte medio del país, especialmente en los departamentos de Ancash , La Libertad, Cajamarca, etc. hace que sus sistemas eléctricos actualmente operando no satisfagan los requerimientos de las comunicaciones.

Desde este punto de vista la implementación del Sistema de Comunicación vía Microondas permitirá satisfacer la demanda de la comunicación entre las diversas Centrales Hidroeléctricas y sub-estaciones, en forma muy particular para el enlace C.H. Cañón del Pato y la S.E. Chimbote 1; el cual será considerada como oportuna, confiable y a un menor costo; así como substituir el medio de comunicación convencional de la línea de A.T. por microondas, en un tiempo razonable y en forma técnica y económicamente favorable; además se obtendrán las grandes ventajas que brindan los Sistemas Interconectados de Microondas.

Con este fin, Hidrandina S.A. en su calidad de entidad encar-

./.

gada de la gestión empresarial en el subsector Electricidad de la Región Norte Medio, por intermedio de la Gerencia de Operaciones encargó la elaboración del estudio de la referencia.

## 2.2 Determinación de la ruta

Las partes principales de un diseño de radioenlace de Microondas, en el cual giran todos los demás cálculos, ya sea de propagación o de ruido, es la elección de la ruta a seguir.

Para la determinación de la ruta a seguir, se hizo uso de Mapas Topográficos a escala 1/100,000; se trata de elegir la ruta en las cartas, eliminando los obstáculos más elevados, para lograr con esto que nuestras alturas de antenas sean la menor posible, pero garantizando una buena performance.

Para el enlace C.H. Cañón del Pato - S.E. Chimbote, se ha visto necesario el uso de repetidoras, al no existir línea de vista entre las dos estaciones para la Interconexión.

### CARACTERÍSTICAS DE LA UBICACION DE LAS ESTACIONES

Al efectuarse el reconocimiento de las rutas y de los puntos escogidos, determinamos las cualidades geográficas de la zona y las ventajas que nos brinda. Así tenemos:

#### a.- ESTACION DE LIMACLLAN:

Como se detalla anteriormente, se emplea el recurso natu-

ral del cerro Limacllán, ubicado en  $77^{\circ}53'17''$  Longitud Oeste,  $8^{\circ}50'29''$  Latitud Sur, en el cual ha de establecerse una estación repetidora.

b.- ESTACION DE TOCANCA PUNTA

Se ubicará dentro de los límites permisibles para la ubicación de una repetidora pasiva conformada por un arreglo de antenas de alta directividad. Esta repetidora se ubicará en el Cº Tocanca Punta situado a  $77^{\circ}58'52''$  L.O,  $8^{\circ}51'27''$  L.S.

c.- ESTACION DE ULTO CRUZ

Ubicado en las coordenadas  $78^{\circ}05'39''$  L.O. ,  $8^{\circ}51'56''$  L.S. se aprovechará el recurso natural para ubicar la siguiente estación repetidora.

c.- ESTACION DE TAMBO REAL

Se ubica en el Cerro del mismo nombre ubicado en  $78^{\circ}34'13''$  L.O. ,  $9^{\circ}00'37.5''$  L.S. del cual se derivará hasta la Subestación Chimbote N°1.

Estas ubicaciones se lograron utilizando los mapas de la zona con las cartas geográficas del Instituto Geográfico Militar. Cabe mencionar que se trató de ubicar estas estaciones lo más cerca posible a la línea de A.T. de 138 Kv. que va de la C.H. a Chimbote, esto con la finalidad de utilizar las mismas esta

ciones repetidoras para un enlace de VHF que sirva para el mantenimiento de las líneas de alta tensión.

#### DETERMINACION DE LAS FRECUENCIAS

Para realizar la disposición de las frecuencias en el presente proyecto se ha tomado en cuenta las recomendaciones del C. C.J.R., específicamente la recomendación 283 que recomienda - por unanimidad:

- 1.- Que la disposición preferida de los canales Radioeléctricos para seis canales de ida y seis de retorno, como máximo, cada uno de ellos formado por 60, 120, 300 o hasta 960 canales telefónicos ó por sistemas digitales de anchura de banda RF equivalente y que funcione en las bandas de frecuencia siguientes:

$$f_o = 1,808 \text{ Mhz para la banda } 1,700 \text{ a } 1,900 \text{ Mhz}$$

$$f_o = 2,000 \text{ Mhz para la banda } 1,900 \text{ a } 2,100 \text{ Mhz}$$

$$f_o = 2,203 \text{ Mhz para la banda } 2,100 \text{ a } 2,300 \text{ Mhz}$$

$$f_o = 2,586 \text{ Mhz para la banda } 2,500 \text{ a } 2,700 \text{ Mhz}$$

se obtenga de la siguiente forma:

$$\text{Mitad inferior de la banda : } f_n = f_o - 108.5 + 14n$$

$$\text{Mitad superior de la banda : } f'_n = f_o - 10.5 + 14n$$

donde:

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$f_0$  : La frecuencia Central de la Banda de frecuencia ocupada de 200 Mhz.

$f_n$  : La frecuencia Central de uno de los canales Radioelétricos en la mitad inferior de esta banda (Mhz)

$f'_n$  : La frecuencia Central de uno de los canales Radioelétricos en la mitad superior de esta banda (Mhz)

En nuestro diseño utilizaremos la banda de 2,100 a 2,300 Mhz, con una frecuencia central  $f_0 = 2,203$  Mhz y  $n = 1, 2, 3, 4$  esto debido a que en nuestro diseño de 60 canales telefónicos - trataremos de no encarecer el proyecto con equipamiento especial de presurización de guías de Onda, en esta frecuencia no utilizaremos tales medios.

Así mismo se está considerando un repetidor pasivo (reflector) en el Cerro Tocanca Punta, ésto se hizo con el criterio de aminorar costos sin poner en riesgo la confiabilidad de la transmisión.

Para colocar el reflector se consultó a los planos y perfiles topográficos considerando los criterios técnicos para la utilización del reflector.

Por lo tanto, las frecuencias de los canales principales serán:

- De C.H. Cañón del Pato hacia C<sup>o</sup>Limacllán se hace uso de la frecuencia 2,108.5 Mhz.

- De Cº Limacllán hacia C.H. Cañón del Pato,  
frecuencia = 2,206.5 Mhz
- De Cº Limacllán hacia Tocanca Punta,  
frecuencia = 2.122.5 Mhz
- De Cº Tocanca Punta hacia Limacllán,  
frecuencia = 2,220.5 Mhz
- De Cº Tocanca Punta hacia Cº Ulto Cruz,  
frecuencia = 2,122.5 Mhz
- De Cº Ulto Cruz hacia Cº Tocanca Punta,  
frecuencia = 2,220.5 Mhz
- De Cº Ulto Cruz hacia Cº Tambo real,  
frecuencia = 2,136.5 Mhz
- De Cº TAMbo Real hacia Cº Ulto Cruz,  
frecuencia = 2,234.5 Mhz
- De Cº Tambo Real hacia S.E. Chimbote Nº1,  
frecuencia = 2,150.5 Mhz
- De la S.E. Chimbote Nº1 hacia Tambo Real,  
frecuencia = 2,248.5 Mhz

### 2.3 El sistema de multiplex

El equipo multiplex que debe ser equipado con la previsión de futuras ampliaciones; se debe ofrecer los equipos necesarios con sus respectivos accesorios, equipo auxiliar y material indispensable para el sistema.

Los equipos serán de estado sólido, de construcción tropicali

zado y deben cumplir lo especificado en lo relacionado a "Requisitos Generales de diseño de construcción".

De acuerdo a las recomendaciones del CCITT, los canales de frecuencia de voz deben ser modulados y/o demodulados del grupo básico "B" en el rango de frecuencia de 60 Khz. a 108 Khz.

El equipo debe estar diseñado para que acepte y entregue niveles de audio de 4 hilos dentro de los límites:

Transmisión : -16 dbr  $\pm$  5 db

Recepción : + 7 dbr  $\pm$  5 db

debe ser ajustado estos niveles continuamente.

Los canales telefónicos deben tener una impedancia nominal de 600 Ohm. simétricos y la atenuación de retorno en la dirección de transmisión y recepción no debe ser menor de 26 db en todas las frecuencias. La atenuación del eco producido por el terminal híbrido deberá ser mayor de 30 db.

La función de este equipo es la de proveer facilidades para generar y distribuir las frecuencias portadora señalización y piloto que se emplean en los equipos descritos.

Con preferencia todas las frecuencias portadoras deben ser derivadas de un solo oscilador maestro con una estabilidad a largo plazo.

El equipo debe contar con paneles de reserva con cambio automá

tico ( 1+1 ) para todos los paneles no pasivos tales como amplificadores y el oscilador maestro.

A cualquier salida de frecuencia portadora todas las otras frecuencias deben ser suprimidas por 80 db.

Se debe proveer acceso para medidas a la salida de todas las frecuencias; los fabricantes deben indicar los voltajes y límites en todas las salidas.

#### LOS DATOS TECNICOS

##### 1.- SISTEMA DE TRANSMISION

El equipo multiplex divisor de frecuencias ( FDM ) se usa para el sistema de transmisión de todos los canales telefónicos que forman parte del presente proyecto.

##### 2.- CAPACIDAD DE TRANSMISION:

La capacidad de canales es vista de 60 canales telefónicos.

##### 3.- LA BANDA BASE

La banda base de frecuencia de transmisión es de 60 Khz y 300 Khz.

##### 4.- EQUIPO DE TRASLACION DE FRECUENCIA:

La traslación de frecuencia se compondrá de dos fases: la traslación de canal y la traslación de grupo.

### 2.3.1 Para el tráfico telefónico

El tráfico telefónico o de voz formado por la cantidad de llamadas establecidas entre los abonados del sistema es el más importante; este tráfico es originado en cada una de las estaciones, que por lo general están ubicadas cerca a ciudades o puntos neurálgicos, puede ser local ó distante.

El número de abonados de cada estación es variable y depende de la magnitud de las operaciones atendidas por la indicada estación.

Se tiene dos tipos de tráfico telefónico, el tráfico local y el tráfico saliente.

#### Tráfico Telefónico Local

Se denomina de esta manera el tráfico que se origina y termina en cada una de las estaciones del sistema de comunicaciones del Centro de Operaciones, generalmente este tráfico es producido por los abonados distribuidos en toda el área de la estación, incluyendo los abonados por integración, radio alámbrica, que requieren de una solución local de sus necesidades. Este tráfico es manejado por un tablero de conmutación que puede ser manual ó automático.

### Tráfico Telefónico Saliente

Cuando las necesidades de las diferentes estaciones ya no pueden ser satisfechas en forma local se requieren las comunicaciones con otras estaciones del Sistema que sirven al centro de Operaciones o con otros puntos del país a través de la Interconexión con la Red Troncal de Microondas.

Todo el tráfico saliente o entrante a otras estaciones se transmite simultáneamente sobre un solo radioenlace mediante un empleo de multiplex.

Los equipos de multiplex para sistemas multicanal, en unidades de cuatro canales que pueden agruparse hasta formar grupos de 12 ó 24 canales ó unidades de 12 canales que pueden operar en tandem para transmitir hasta 24 canales; este último puede ser Multiplex por División de Tiempo ( TDM ).

#### 2.3.2 Para el tráfico telegráfico

Este tipo de tráfico se utiliza en actividades administrativas, logísticas y de información. La distribución y canalización de este tráfico es restringido.

La característica de transmisión empleada es según el Standar de 50 baudios, aquí tendrá también tráfico lo-

cal y tráfico distante:

#### TRAFICO TELEGRAFICO LOCAL

Es igual que el tráfico telefónico local, este tipo de comunicaciones será generado por los teleimpresores de los abonados locales. Su distribución se efectúa a través de la consola del operador mediante el Panel de distribución PATCH-PANEL.

#### TRAFICO TELEGRAFICO DISTANTE

En este caso cualquiera de los teletipos locales puede ser interconectado con otro teletipo en otra estación de comunicaciones ó del Sistema Nacional.

Las señales de teletipo convertidas en frecuencias de audio con la técnica FREQUENCY SHIFT KEYING puede ser transmitidas por canales telefónicos disponibles.

#### 2.3.3 Para el trafico de datos y facsimil

El Sistema de comunicaciones a ser empleado por el centro de operaciones debe disponer de la flexibilidad y capacidad para soportar un canal de datos ó un canal telefónico, lo que evita tener un canal especializado.

La naturaleza de estos servicios es de terminal a ter-

minal y son por lo general de tráfico saliente ó distante.

#### DATOS

Las posibilidades de transmisión de datos aumenta la flexibilidad del sistema.

En este caso se requiere de un modem ( MODULADOR - DEMODULADOR ) que convierte los pulsos de datos en tonos de audio; se pueden usar MODEMS para operación sincrónica ó asincrónica.

#### FACSIMIL

Este tipo de máquina periférica nos dá la posibilidad de transmitir información gráfica en forma de mapas , fotografías, listas, etc., a través de un canal telefónico en forma de señal eléctrica.

### 2.4 Adopciones del sistema

La flexibilidad del sistema permite adoptar una configuración modular; y la operación de los módulos se efectúa en forma independiente y cada una de ellas puede ser interconectadas según las necesidades; se puede establecer tipos de configuraciones básicas:

#### 2.4.1 Terminales

Se ubican generalmente en las proximidades de la oficina principal del centro de operaciones. El módulo de Tráfico efectúa la conmutación del tráfico y puede servir como Centro de mensajes.

Para la interconexión con la RED TRONCAL DE MICROONDAS a nivel de líneas telegráficas éstas se toman del módulo de tráfico.

El módulo de radio se interconecta con cable multipar y puede estar distanciado de 3 a 5 Kms.

#### 2.4.2 Repetidoras

Las retransmisoras, permiten aumentar el rango de comunicación de radioenlace; las señales recibidas de una estación son transmitidas hacia la siguiente estación en otra frecuencia.

La información recibida puede retransmitirse sin alterar el contenido de los canales, como en el caso de la repetidora simple ó añadiendo ó disminuyendo canales como el caso de las repetidoras tipo extracción/ inserción Drop-Insert.

## 2.5 Interconexión con la Red Troncal de Microondas

La red de comunicaciones puede trabajar en forma independiente; sin embargo debe ser posible unir dicha red con el SISTEMA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES sin añadir equipos y sin variar la estructura básica del sistema.

La interconexión se puede hacer en dos formas a decir:

### CONEXION A NIVEL DE VOZ EN LOS TERMINALES

La interconexión podrá hacerse a dos hilos ó a cuatro hilos; las conexiones a dos hilos se harán a las Centrales Públicas ó Privadas disponibles de operación manual BL ó BC de cualquier tipo de Central automática.

Estas conexiones permiten incorporar canales del sistema, como abonados de las Centrales de tal forma que los teléfonos ó conmutadores del sistema funcionan como abonados de la Central Local.

La conexión de 4 hilos se harán por lo general directamente a los equipos de Larga Distancia nacionales, también se empleará este método para la interconexión de líneas de tránsito dentro de la red.

CAPITULO III  
DISEÑO DEL ENLACE POR MICROONDAS

3.1 Diseño del tramo Chimbote - Cañón del Pato

La ruta del tramo del enlace es un plan que debe realizarse - con muchas consideraciones propios de un proyecto. En el trabajo de selección de la ubicación de estaciones se han tomado en cuenta los siguientes factores:

- 1.- Satisfacción de las características de la calidad de transmisión exigida a un costo razonable.
- 2.- Facilidad de los trabajos de construcción y mantenimiento, con el objeto de poder satisfacer estas dos condiciones se han hecho los estudios siguientes:
  - a) Selección de las rutas preliminares y confección de perfiles teniendo en cuenta:
    - Facilidades a la propagación
    - Planes de futura expansión
    - Accesibilidad de los puntos
  - b) Comprobación de las rutas preliminares; consiste en:

- Confirmación de la línea de vista por medio de pruebas ópticas de espejo y equipos transceptores.
- Comprobación de obstáculos cercanos que podría obstruir la visibilidad.
- Estimación de claridad y altura de antenas.
- Posibilidad de reflexión.
- Posibilidades de interferencia de otros sistemas existentes o de la propia ruta.

c) Estimación de la calidad de la transmisión basadas en las normas y recomendaciones del CCJR y CCITT.

#### SELECCION DE RUTAS PRELIMINARES

Antes de efectuar los estudios en los lugares se hacen los estudios en mapas utilizándo las cartas geográficas (ver anexo D) en este estudio se ha juzgado si existe o no visibilidad de las posibles estaciones y con esta información, se estudió el método para llevar el estudio en el campo.

#### COMPROBACION DE LAS RUTAS PRELIMINARES

En esta etapa se realizan los estudios de la confirmación del lugar para la ubicación de las estaciones y se confirma si el lugar geográfico visitado corresponde o no al lugar seleccionado por medio del estudio en el mapa, esto se realizó mediante la medición del ángulo horizontal entre las montañas, pun-

tos de triangulación y objetos de referencia encontradas en la carta y comparándola con las mediciones efectuadas en el lugar, para este objeto se utilizaron larga vistas, espejo, teodolitos, alfileros, brújulas, trancéptores y la orientación de conocedores de la zona.

Además se tomó en consideración la comprobación de línea de vista, para determinar la altura de las antenas.

Para transmitir suficiente energía desde el lado de transmisión al de recepción, para alcanzar este objetivo es necesario obtener suficiente espacio libre de paso en la línea de vista entre las estaciones de cada tramo, basándose en las condiciones siguientes:

En el sistema ordinario, todos los radios de la primera Zona de Fresnel se mantuvo libre dentro del perfil con el factor  $K = 4/3$  (consideración de atmósfera normal) y el límite crítico de  $K = 2/3$ .

En el sistema con diversidad de espacio para la antena de la parte superior debe mantener las condiciones del párrafo anterior.

### 3.2 Plan de ruta

La parte principal de un diseño de radio enlace de Microondas, en la cual giran todos los demás cálculos, ya sea de propagación de las ondas electromagnéticas o del ruido, es la elección de la ruta a seguir.

Para la determinación de la ruta a seguir se hizo uso de mapas topográficos en escala 1/100,000 para la construcción de los perfiles topográficos de los tramos respectivos.

En el Enlace Chimbote - Cañón de Pato, se ha visto que es necesario el uso de repetidoras al no existir línea de vista entre las estaciones y además por la distancia juntamente con la geografía hace que el tramo requiera lo mencionado.

#### 3.2.1 Características de ubicación de las antenas

Dado que el enlace será conectado a la red Troncal de Microondas; y por ello se exige alta calidad de transmisión de recepción deben estar acorde a las últimas recomendaciones del CCITT y CCIR, y las antenas deben cumplir plenamente los requisitos recomendados por los organismos citados respecto a su calidad técnica y su ubicación.

Previamente para que las antenas entren en servicio, se

deberá contar con los datos de rendimiento y confiabilidad en funcionamiento efectivo con los equipos iguales o similares en diseño a los equipos que se poseen. En caso contrario se detallará las precauciones especiales que garantizan la calidad, rendimiento y confiabilidad de las antenas no puesta en servicio aún en algún sistema de comunicación en el ámbito mundial.

Es de primordial importancia que las antenas y los equipos funcionen satisfactoriamente sin necesidad de frecuente atención de mantenimiento hasta donde sea posible para las operaciones de mantenimiento que hayan de ser llevadas a cabo por el personal encargado de estas tareas, deben ser sencillas y directas. Con el fin de facilitar el mantenimiento y reparación todo el equipo que no esté contenido en unidades herméticamente selladas, debe estar diseñado de tal manera que los componentes sean tan fácilmente accesibles como sea posible.

Las unidades de los apartados individuales y paneles del equipo deben ser fácilmente accesibles. Estos elementos deben ser retirados para el mantenimiento y reemplazo.

Por lo mencionado la ubicación de las estaciones está vinculada a la utilización. En general se prefieren

emplazamientos elevados y libre de obstrucciones para los módulos de transmisión, y dicho emplazamiento estarán acondicionados por los factores de accesibilidad y ubicación topográfica.

La Zona Geográfica del presente proyecto se ubica en el Departamento de Ancash, entre la provincia de Huaylas y la provincia Del Santa, nuestro enlace por microondas cruza la Cordillera Negra, por lo que las ubicaciones de nuestras repetidoras se localizan en alturas bastantes considerables.

En el Anexo "D" de este proyecto se muestran los mapas que involucran a las Estaciones Repetidoras, así como también los perfiles topográficos que son de suma utilidad para el cálculo de las alturas de las estaciones, etc.

### 3.2.2 Determinación de las alturas de las antenas

Este cálculo se realiza asumiendo la altura de una de las antenas ( $ha_2$ ) y está dado por la siguiente relación en el caso de  $K= 4/3$ .

$$ha_1(K=4/3) = \frac{d}{d_2}(ho+hs) - \frac{d_1}{d_2}(hg_2+ha_2) + 0.0588 dd_1 - hg_1 \quad (3.1)$$

donde :

$ha_1, ha_2$  alturas de las antenas (m)

$h_s$	altura de obstáculo s.n.m. (m)
$h_{g_1}, h_{g_2}$	altura de las estaciones s.n.m. (m)
$h_o$	radio de la 1ra. Zona de Fresnel (m)
$d$	distancia del salto

El cálculo de la altura de antena para el valor de

$$K = 2/3$$

$$h_{a_1}(K=2/3) = h_{a_1}(K=4/3) - \frac{d h_o}{3 d_2} + 0.0588 d d_1 \quad (m) \quad (3.2)$$

Luego de haberse calculado la altura de la antena  $h_{a_1}$  para los casos de  $K=4/3$  y  $K=2/3$ , lo comparamos y escogemos la mayor como altura necesaria de la antena.

Esto se hace con la finalidad de tener un buen rango de seguridad. Después de determinar las alturas de las antenas sobre el nivel del mar  $h_1$  y  $h_2$ , que es consecuencia de la suma de las alturas de las estaciones s.n.m. ( $h_{g_1}$ ,  $h_{g_2}$ ) y las alturas de las antenas ( $h_{a_1}$ ,  $h_{a_2}$ ), sobre las estaciones, veremos según el procedimiento siguiente el margen de claridad ( $h_{cm}$ ) en el punto del obstáculo.

La claridad para  $h_c$  ( $K=4/3$ )

$$h_c(K=4/3) = h_1 - \frac{d_1}{d}(h_1 - h_2) - 0.0588 d_1 d_2 - h_s \quad (m) \quad (3.3)$$

La diferencia entre  $hc(K=4/3)$  y  $h_o$  es el que determinará el margen sobre el obstáculo  $hcm(K=4/3)$ .

$$hcm (K=4/3) = hc (K=4/3) - h_o \quad (m) \quad (3.4)$$

La claridad para  $hc (K=2/3)$

$$hc (K=2/3) = hc (K=4/3) - 0.0588 d_1 d_2 \quad (m) \quad (3.5)$$

La diferencia entre  $hc (K=2/3)$  y los  $2/3$  de  $h_o$  es el que determinará el margen sobre el obstáculo  $hcm(K=2/3)$ .

$$hcm (K=2/3) = hc (K=2/3) - 2/3 h_o \quad (m) \quad (3.6)$$

El valor a tomarse en cuenta como margen de claridad será el menor de la comparación entre 3.4 y 3.6

El significado de los términos empleados se muestran en la Fig. 1 del Anexo "D".

### 3.2.2.1 Condiciones para la determinación de las alturas de antenas

Las condiciones para la determinación de las alturas de antenas se basan en la necesidad de limitar el desvanecimiento debido a las reflexiones para un valor dado extremadamente bajo de  $K$ , usualmente  $K=2/3$

Así tenemos:

- a) La luz libre respecto al obstáculo para el valor de  $K=4/3$  , debe ser mayor que el radio de la primera zona de Fresnel ( $h_0$ ) permitiéndose un valor mínimo de 1.00  $h_0$  .
- b) La luz libre respecto al obstáculo para  $K=2/3$ , debe ser mayor que  $2/3 h_0$ .
- c) La luz libre con respecto al obstáculo de la antena para diversidad de espacio (segunda Antena), para el valor de  $K=4/3$ , debe ser mayor que  $2/3 h_0$ .

### 3.2.2.2 Zonas de Fresnel

La noción del significado de las Zonas de Fresnel es muy útil e importante para la transmisión de las ondas 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, que está dado por la siguiente relación :

$$h_0 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}} \quad (3.7)$$

donde:

$h_0$ : Zona de Fresnel

$d_1$ : Distancia al extremo lejano del trayecto  
(Km)

$d_2$ : Distancia al extremo cercano del trayecto  
(Km)

$d$ : Longitud total del trayecto (Km)

$\lambda$ : Longitud de Onda (mm)

### 3.2.2.3 Factor K

El valor de K es denominado Factor de Radio de la Tierra equivalente y representa el efecto que produce la atmósfera en la propagación del haz radioeléctrico, cuyo valor depende de la condición atmosférica.

En la Figura 2, la línea  $K=1$ , representa el trayecto radioeléctrico cuando la constante dieléctrica no cambia con la altura, esto es no se produce curvatura alguna. Cuando la constante dieléctrica aumenta con la altura, el haz radioeléctrico se curva hacia arriba, como indica la línea  $K=2/3$ . En cambio cuando la constante dieléctrica disminuye con la altura, el haz radioeléctrico se curva hacia abajo y puede desplazarse paralelo a la superficie de la Tierra, como indica la línea  $K=$

La línea  $K=4/3$  representa un valor intermedio, denominado "Atmósfera Normal", ya que es el valor que cabe esperar con más frecuencia entre las horas del día

### 3.3 Plan de Frecuencias

#### 3.3.1 Asignación de Frecuencias

La asignación de frecuencias en el presente trabajo se ha realizado en función de las recomendaciones emitidas por el CCITT y la CCIR.

En la Sección 2.2 se ha desarrollado la determinación de las frecuencias las cuales serán asignadas en los diferentes tramos del proyecto.

#### 3.3.2 Polarización

La polarización en la transmisión y recepción, están dadas en las disposiciones de Polarización Vertical y Polarización Horizontal para cada tramo correspondiente.

### 3.4 Análisis de la Onda Reflejada

En el sistema de Transmisión Radioeléctrica por Microondas, es muy importante el análisis de los ángulos del rayo directo y rayo reflejado, pues con estos valores podemos calcular el margen sobre los obstáculos  $F$ , la relación  $F/F_1$  y el número

n en la Zona de Fresnel.

El cálculo de los ángulos están en mrad, los cuales son convertidos a grados sexagesimales usando la relación 3.14.

a) ANGULO DE ELEVACION DE LA ONDA DIRECTA

Que están formados por la onda directa y la paralela a la tangente trazada en el punto de reflexión, en el curso de la propagación Radioeléctrica.

Se realizan los cálculos mediante las siguientes relaciones:

$$\alpha_1 = \frac{h_2 - h_1}{d} - \frac{1}{2Ka} \times d \quad \text{m rad} \quad (3.8)$$

$$\alpha_2 = \frac{h_1 - h_2}{d} - \frac{1}{2Ka} \times d \quad \text{m rad} \quad (3.9)$$

donde:

$h_1$  : Altura de la antena de la primera estación sobre el nivel del mar s.n.m. (m).

$h_2$  : Altura de la antena de la segunda estación sobre el nivel del mar s.n.m. (m).

$d$  : Distancia total del tramo (Km)

$K$  : Factor de Radio de Tierra equivalente (Km)

$a$  : Radio de la Tierra (6,370 Km).

## b) ANGULOS DE ELEVACION DE LA ONDA REFLEJADA

Está formado por la onda directa y la tangente trazada por el punto de reflexión, y sus cálculos se realizan con las siguientes expresiones :

$$\beta_1 = \frac{hr - h_1}{dr_1} - \frac{dr_1}{2Ka} \quad \text{m rad} \quad (3.10)$$

$$\beta_2 = \frac{hr - h_2}{dr_2} - \frac{dr_2}{2Ka} \quad \text{m rad} \quad (3.11)$$

donde:

$dr_1$  : Distancia entre la primera estación y el punto de reflexión (Km)

$dr_2$  : Distancia entre la segunda estación y el punto de reflexión (Km)

$hr$  : Altura del punto de reflexión s.n.m. (m)

## c) ANGULO ENTRE LA ONDA DIRECTA Y LA ONDA REFLEJADA

Obviamente estos valores de los ángulos entre las ondas directa y reflejada se obtienen por la diferencia entre los valores obtenidos anteriormente, cuyas expresiones están dadas por :

$$\theta_1 = \alpha_1 - \beta_1 = \frac{h_1 - hr}{dr_1} + \frac{h_2 - h_1}{d} - \frac{dr_2}{2Ka} \quad \text{m rad} \quad (3.12)$$

$$\theta_2 = \alpha_2 - \beta_2 = \frac{h_2 - hr}{dr_2} + \frac{h_1 - h_2}{d} - \frac{dr_1}{2Ka} \quad \text{m rad} \quad (3.13)$$

Para convertir estos ángulos en grados sexagesimales se hace uso de las siguientes relaciones.

$$\theta_1(\text{grados}) \approx 0.00573 \theta_1 \text{ (m rad)} \quad (3.14)$$

$$\theta_2(\text{grados}) \approx 0.00573 \theta_2 \text{ (m rad)}$$

El significado de los términos empleados se muestran en la Fig. 3, del Anexo D.

Para el cálculo de  $d_1$  y  $d_2$  hacemos uso de las siguientes ecuaciones y gráficos :

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2 - 2hr} \quad (3.15)$$

$$m = \frac{1}{4Ka} \times \frac{d^2}{(h_1 + h_2 - 2hr)}$$

Con los valores de  $c$  y  $m$ , obtenemos  $b$  usando la Fig. 4. del Anexo D.

Con  $b$  se determinan las distancias al punto de reflexión  $dr_1$  y  $dr_2$ , como sigue:

$$dr_1 = \frac{d}{2} (1 + b)$$

(3.16)

$$dr_2 = d - dr_1$$

Para el cálculo de la pérdida de la potencia de la onda reflejada hacemos uso de la siguiente relación :

$$(D/U)_r = L_r + D(\theta_1) + D(\theta_2) \text{ dB} \quad (3.17)$$

Donde:

$(D/U)_r$  : Proporción entre la potencia de la onda deseada (Desired) y la potencia de la onda no deseada (Undesired)

$L_r$  : Pérdida por reflexión según la zona, (Tabla Nº I)

$D(\theta_1), D(\theta_2)$  : Pérdida por directividad de antena (Fig. 5)

Si el valor  $(D/U)_r$  es inferior a 10 dB, hay que adoptar la diversidad para evitar desvanecimiento tipo K.

### 3.5 Atenuación de la onda reflejada por obstáculo

La atenuación de la onda reflejada por obstáculo es producida esencialmente por la difracción que sufre la onda indirecta al incidir en el obstáculo, razón por el cual en el cálculo del proyecto se realizan una determinación de la altura de

las antenas corregidas al trazar una tangente al punto de reflexión, para lo cual se emplea la expresión siguiente :

$$h'_{1r} = h_1 - hr - \frac{dr_1^2}{2Ka} \quad (\text{m}) \quad (3.18)$$

donde:

$h'_{1r}$  : altura de antena corregida

$dr_1$  : distancia entre la primera estación y el punto de reflexión (Km)

El significado de los términos se muestran en la Fig. 6, del Anexo D.

### 3.5.1 Altura Efectiva del Obstáculo ( $h_e$ )

El valor de la altura efectiva del obstáculo ( $h_e$ ) se puede calcular mediante la siguiente fórmula :

$$h_e = h_s - h_1 + \frac{d_1}{d} (h_1 + h_2) + \frac{d_1 d_2}{2Ka} \quad (\text{m}) \quad (3.19)$$

donde:

$h_s$  : altura del obstáculo sobre el nivel del mar (m)

$h_1$  : altura de la primera estación s.n.m. (m)

$h_2$  : altura de la segunda estación s.n.m. (m)

$d_1$  : distancia de la primera estación al obstáculo (Km)

$d_2$  : distancia de la segunda estación al obstáculo (Km)

$d$  : distancia total del trayecto (Km)

El significado de los términos se muestran en la Fig. 7 del Anexo D.

### 3.5.2 Radio de la Primera Zona de Fresnel en el Obstáculo

El valor del radio de la primera Zona de Fresnel en el obstáculo es diferente respecto sin obstáculo.

Se puede calcular mediante la ecuación:

$$h_o = \frac{d_1 d_2}{d} \quad (\text{m}) \quad (3.20)$$

Realizando una relación entre la altura efectiva del obstáculo ( $h_e$ ) y la altura del Radio de Fresnel; en caso de que el valor resultante de esta relación sea - mayor o igual a 3 usaremos la siguiente expresión para hallar  $L_s$  :

$$L_s = 20 \log \frac{h_e}{h_o} + 16 \quad (\text{dB}) \quad (3.21)$$

donde:

$L_s$  : Atenuación de la onda reflejada por obstáculo

En los casos de que  $h_e/h_o$  sea menor que 3 se usa el diagrama N°8 que relaciona la pérdida de difracción por obstáculo (dB) Vs. cálculo de pérdida por difracción.

### 3.6 Diferencia de Trayecto y Tiempo de Retardo entre las Ondas directas y reflejadas

En la Fig. 6 se muestra los siguientes trayectos tomados por la onda directa y reflejada; esto nos traerá como consecuencia una diferencia de trayecto y tiempo de retardo entre ambas ondas, lográndose mediante las siguientes expresiones sus valores a tomarse en cuenta.

Así tenemos:

$$h_1' = h_1 - h_s - \frac{d_1^2}{2Ka}$$

$$h_2' = h_2 - h_s - \frac{d_2^2}{2Ka}$$

$$h_1' = h_1 - h_s - \frac{dr_1^2}{2Ka} \quad (m) \quad (3.24)$$

$$h_s' = h_s - \frac{dr_2^2}{2Ka} \quad (m) \quad (3.25)$$

Donde:

$h_1'$ ,  $h_2'$  : Son las alturas efectivas corregidas de las antenas al trazar una tangente en el punto máximo del obstáculo (m)

$h_s'$  : altura corregida del obstáculo al trazar una tangente en el punto de reflexión (m)

$dr_1$  : distancia entre la primera estación y el punto de reflexión (Km)

./.

$d_{r2}$  : Distancia entre el punto de reflexión y el obstáculo (Km)

$d_1$  : distancia de la primera estación al obstáculo (Km)

$d_2$  : distancia de la segunda estación al obstáculo (Km)

Por lo tanto la diferencia del trayecto está dado por:

$$s = \frac{1}{2} \left[ \frac{(h_1')^2}{d_1} + \frac{(h_2')^2}{d_2} - \frac{(h_1' - h_2')^2}{d} + \frac{2h_1' \cdot h_s'}{d_1} \right] \times 10^{-3} \text{ (m)} \quad (3.26)$$

y la onda reflejada tendrá un tiempo de retardo de:

$$\tau = 10/3 \text{ s (n seg)} \quad (3.27)$$

## CAPITULO IV

### DISEÑO DE LAS ANTENAS TRANSMISORA Y RECEPTORA

#### 4.1 Diseño del sistema de antenas

En los cálculos ha realizarse; se considera a la tierra como una esfera de radio  $a=6,370$  Km. para una distancia de 10 Km. más o menos hay que considerar la proporción de la curva, ya que la distancia entre el transmisor y el receptor es de mayor alcance que la distancia de línea visual, geoméricamente y ópticamente la tierra interrumpe la onda.

Por la razón anterior y considerando los factores geográficos, se toma el índice troposférico  $K = 4/3$  .

El índice troposférico o también denominado factor de curvatura de la Tierra; depende de la gradiente del índice de refracción  $N$ , y éste a su vez depende de la constante dieléctrica que es función de la presión, temperatura y humedad. Cuando la constante dieléctrica no cambia con la altura  $K=1$  y no produce ninguna curvatura la atmósfera sobre el rayo radioelétrico, cuando la constante dieléctrica aumenta con la altura el

rayo se curva hacia abajo  $K= 4/3$  pudiendo desplazarse paralelo a la curva de la tierra ver Fig. 2 del Anexo D.

Los efectos de la atmósfera, a las frecuencias de Microondas, se deben a la constante dieléctrica, o bien del índice de refracción  $N$  del medio con respecto a la altura sobre la tierra; se considera que la atmósfera está formada por capas esféricas que dependen de la temperatura, presión y humedad.

$$N = 1 + \frac{A}{T} \left( P + \frac{Bp}{T} \right) \times 10^{-6} \quad (4.1)$$

Donde:

$T$  : Temperatura ( $^{\circ}K$ )

$P$  : Presión (milibar)

$p$  : Presión parcial de vapor (milibar)

$A, B$ : Constantes

El término  $A/T$  de la ecuación (4.1) se debe a los momentos de dipolo inducido en las moléculas del vapor de agua y el término  $P + Bp/T$  se debe a los momentos de dipolo permanentes.

Los valores de las constantes  $A$  y  $B$  son  $79 \text{ }^{\circ}K/mb$  y  $4800^{\circ}K$  respectivamente basados en datos experimentales, los cuales se pueden incluir en la ecuación:

$$N = 1 + \frac{79}{T} \left( P + \frac{4800}{T} p \right) \times 10^{-6} \quad (4.2)$$

En una atmósfera normal, la temperatura  $T$  baja lentamente con la altura y la presión atmosférica también disminuye al aumentar la altura. Siendo estos los factores más importantes de la ecuación anterior el efecto neto es doblar el haz radioeléctrico hacia arriba ó hacia abajo dependiendo de estos parámetros de la atmósfera.

Normalmente se flexionan las ondas hacia la tierra debido a que el índice de refracción disminuye con la altura, con el resultado de que la parte superior del frente de ondas se propagará más rápidamente que la parte inferior.

Si la tierra no tuviera atmósfera el haz radioeléctrico se propagaría en línea recta desde la antena transmisora situada sobre la superficie de la tierra que tiene determinada curvatura, pero debido a la variación del índice de refracción el haz radioeléctrico tendrá una determinada curvatura.

En realidad, lo importante no es la curvatura de la tierra o del haz radioeléctrico, sino la curvatura relativa del haz respecto a la tierra lo cual permite convenientemente considerar la propagación de las ondas en línea recta sobre una tierra que tiene una curvatura relativa. El índice de refracción debe variar de tal manera que su derivada con respecto a la altura sobre la tierra es la recíproca del radio de la tierra por lo cual la tierra podrá considerarse como plana, modificando el índice de refracción " $n$ " por un factor  $( 1 + h/R_T )$ .

El índice modificado (  $N'$  ) será

$$N' = n \left( 1 + \frac{h}{R_T} \right) \quad (4.3)$$

Donde :

$h$  : Altura sobre la tierra

$R_T$  : Radio real de la Tierra

Es interesante notar que normalmente  $n$  disminuye pero  $N'$  aumenta con la altura sobre la tierra.

El índice  $n$  debe disminuir en forma lineal según la ecuación :

$$n = n_0 + \left( \frac{dn}{dh} \right) h \quad (4.4)$$

Donde :

$n_0$  : Constante

$dn/dh$  : Constante

$(dn/dh)h$ : Es un factor pequeño comparado con  $n_0$  , es decir de la ecuación (4.3)

luego:

$$N' = n_0 + \left( \frac{dn}{dh} \right) h + \frac{hn_0}{R_T} + \frac{h^2}{R_T} \times \left( \frac{dn}{dh} \right) \quad (4.5)$$

El factor  $h^2/R_T (dn/dh)$  es despreciable y se define que  $R_E$  es el radio efectivo de la tierra, el índice modificado se ex-

presará como

$$N' = n_0 \left( 1 + \frac{h}{R_E} \right) \quad (4.6)$$

considerando que:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{n_0} \times \frac{dn}{dh} + \frac{1}{R_T} \quad (4.7)$$

Para obtener el radio efectivo de la tierra se corrige el radio  $R_T$  por un factor  $K$ . Es decir  $R_E = K R_T$

El factor  $K = R_E/R_T$  se define por la dirección y el valor de la curvatura de la tierra y cualquier cambio de  $K$  equivaldría a una variación de las condiciones de la atmósfera, ya que el índice  $n$  es variable.

El factor  $K$  puede deducirse de la ecuación:

$$1/R_E = \frac{R_T (dn/dh) + n_0}{R_T n_0} \quad (4.8)$$

$$R_E/R_T = \frac{n_0}{R_T (dn/dh) + n_0} = K \quad (4.9)$$

Luego el valor de  $K$  es:

presará como

$$N' = n_0 \left( 1 + \frac{h}{R_E} \right) \quad (4.6)$$

considerando que:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{n_0} \times \frac{dn}{dh} + \frac{1}{R_T} \quad (4.7)$$

Para obtener el radio efectivo de la tierra se corrige el radio  $R_T$  por un factor  $K$ . Es decir  $R_E = K R_T$

El factor  $K = R_E/R_T$  se define por la dirección y el valor de la curvatura de la tierra y cualquier cambio de  $K$  equivaldría a una variación de las condiciones de la atmósfera, ya que el índice  $n$  es variable.

El factor  $K$  puede deducirse de la ecuación:

$$1/R_E = \frac{R_T (dn/dh) + n_0}{R_T n_0} \quad (4.8)$$

$$R_E/R_T = \frac{n_0}{R_T (dn/dh) + n_0} = K \quad (4.9)$$

Luego el valor de  $K$  es:

$$K = \frac{1}{1 + R_T/n_0 (dn/dh)} \quad (4.10)$$

Es conveniente referirse a una atmósfera standar que es la que existe durante la mayor parte del tiempo, es decir que se considera para la refracción normal, que  $(dn/dh)$  por metro es  $dn/dh = -3.66 \times 10^{-8}$ .

Sustituyendo este valor y considerando que  $n_0$  es aproximadamente igual a 1 y  $R_T = 6370$  Km.

$$K = \frac{1}{1 + (-3.66 \times 10^{-8}) (6370 \times 10^3)} = 1.304 \cong 4/3$$

#### 4.2 Factores que deciden el tipo de antenas

Dentro de los muchos factores que deciden el tipo de antena, el factor más importante es la ganancia de la antena cuyo valor depende directamente de su área es decir de la dimensión de la antena.

Esta ganancia de la antena es un dato muy importante en el cálculo final del ruido térmico, Tiempo de Interrupción, Nivel del Campo Mínimo y Potencia de Recepción en todos los tramos; pudiéndose realizar reajustes si no se llega a cumplir con las recomendaciones del CCIR para el Ruido Térmico y Tiempo de Retardo y además a las características de los equipos para el umbral de recepción.

Por lo cual la antena se decide tomando en consideración la ganancia sin embargo en el caso que no se satisfaga la Norma de Ruido de interferencia con esa antena, se deben realizar otras antenas con mayor directividad manteniendo la ganancia necesaria.

#### SELECCION DE ANTENA EN BASE A LA GANANCIA NECESARIA

Si el tramo es largo debe seleccionarse una antena de mayor ganancia, para reducir el ruido térmico y el tiempo de interrupción.

Si el tramo es corto se usa una antena de menor ganancia tal que la potencia recibida está entre los límites permisibles, verificando que no exceda el límite superior de la potencia permisible.

El procedimiento para calcular el tipo de antena es el siguiente: se calculan las ganancias necesarias de las antenas de transmisión y recepción con la siguiente fórmula:

$$G_T + G_R = P_r + \Gamma_0 + L_f - P_t \quad (4.11)$$

donde:

$G_T$  : Ganancia de antena transmisora (db)

$G_R$  : Ganancia de antena receptora (db)

$\Gamma_0$  : Pérdida básica de propagación en el espacio libre (db)

$L_f$  : Pérdida total de alimentadores (db)

$P_t$  : Potencia de salida del transmisor (db)

Los niveles de señal se muestran en la fig. 9.

## SELECCION DE LA ANTENA EN BASE A LA DIRECTIVIDAD NECESARIA

En el caso que se requiera mayor directividad de antena para reducir el ruido de interferencia y evitar el mal funcionamiento se selecciona una antena de suficiente directividad, refiriéndose a los datos de directividad de antena ofrecidos por los fabricantes. Las antenas utilizables en la frecuencia de microondas son directivas en medio y en cuarto de onda, cuando se trata de emisión y recepción en comunicación según nuestro proyecto, ya que cuando se concentra en un haz estrecho la potencia dada por el emisor, la potencia aparente en la estación receptora viene extraordinariamente aumentada. Una antena directiva que tenga una ganancia de 16 db alimentada por un emisor de 25 vatios, equivaldrá para la estación receptora a una estación de 1 kilovatio.

### 4.2.1 Atenuación del espacio libre ( $\Gamma_0$ )

Todo haz radioeléctrico al propagarse en el espacio libre sufre una atenuación en el trayecto que puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma_0 = 32.5 + 20 \log D + 20 \log f \quad (4.12)$$

donde:

$\Gamma_0$  : Pérdida básica en propagación por el espacio libre

D : Distancia del tramo (Km)

f Frecuencia de tramo (MHz)

#### 4.2.2 Atenuación por línea de alimentación ( $L_f$ )

La señal radioeléctrica también se verá atenuada, en el trayecto entre la antena y los equipos, el cual depende rá directamente de la longitud y calidad de la línea de alimentación.

En nuestro proyecto usaremos cable coaxial con una impedancia de 50 ohmios y una atenuación de 4 db/100 m.

#### 4.2.3 Atenuación por obstáculo

Con el empleo de los perfiles topográficos, se determinan los obstáculos de forma que nos va a bloquear parte de la energía radioeléctrica irradiada.

Este bloqueo de la señal originará una pérdida adicional a la atenuación por espacio libre.

Los resultados se obtienen mediante la relación  $F/F_1$  siendo F el margen sobre obstáculos del trayecto y  $F_1$  el radio de la primera zona de Fresnel.

Realmente depende del perfil del terreno entre las dos estaciones a ser elegidas y de la posición del rayo hertziano con relación a este perfil.

Con relación al rayo hertziano podemos definir:

a) VISIÓN DIRECTA

Es el mismo caso de la visión directa entre las estaciones, inclusive la primera Zona de Fresnel libre.

b) DIFRACCIÓN

Se presenta cuando hay obstáculos en el recorrido que hace el rayo hertziano (1er. rayo) entre las dos estaciones dependiendo del obstáculo y de la distancia entre estas estaciones.

Este fenómeno puede convertirse en difusión o dispersión.

c) REFLEXIÓN

Sucede cuando la propagación es sobre el agua o tierra plana.

Como consecuencia de todo lo anterior resulta que el primer paso en el cálculo de la estimación media es considerar estos factores.

#### 4.2.4 Atenuación por filtro y circuladores ( $A_m$ )

Este es un dato que da el fabricante según el tipo, calidad, para una forma de comunicación, en nuestro proyecto estamos considerando una estimación de 2 db.

#### 4.2.5 Potencia de transmisión ( $P_t$ )

La potencia de transmisión es un factor importante, el cual debe ser decidido en función a los cálculos del procedimiento.

En nuestro proyecto hemos hecho las siguientes consideraciones:

Enlace: C.H. Cañón del Pato - Cº Limacllán	$P_t = 1.4 \text{ w}$
Cº Limacllán - Cº Ulto Cruz	$P_t = 5.0 \text{ w}$
Cº Ulto Cruz - Cº Tambo Real	$P_t = 1.4 \text{ w}$
Cº Tambo Real - S.E. Chimbote Nº1	$P_t = 1.4 \text{ w}$

Las consideraciones de potencia de transmisión se han hecho en base a las pérdidas que sufre la señal en su recorrido y a las especificaciones técnicas de equipos que existen en el mercado.

Con relación al tramo Cº Limacllán - Cº Ulto Cruz se ha considerado un equipo con una potencia de transmisión de 5 w, debido a que entre estos dos cerros se encuentra un reflector pasivo en el Cº Tocanca Punta como se vió en la sección 2.2, debido a que las pérdidas por espacio libre es mayor con relación a enlaces directos.

#### 4.2.6 Potencia de recepción ( $P_r$ )

Todos los datos anteriores sirven para calcular el nivel de recepción el cual debe estar sobre el rango de silenciamiento del receptor.

Sobre la potencia de recepción se pueden hacer las siguientes definiciones:

1) En el caso de que no se use reflectores:

$$P_r = P_t + (G_T + G_R) - \Gamma_0 - (Lf_t + Lf_r) \text{ (dBm)} \quad (4.13)$$

donde:

$P_t$  : Potencia de salida del transmisor, en dBm

$G_T, G_R$  : Ganancia de la antena de transmisión o recepción, en db

$Lf_t, Lf_r$  : Pérdida del alimentador de transmisión y recepción, en db

2) En el caso de que en el tramo se use un reflector:

$$P_r = P_t + (G_T + G_R) - (\Gamma_{01} + \Gamma_{02} - G_p) - (Lf_t + Lf_r) \dots\dots \text{(dBm)} \quad (4.14)$$

donde:

$G_p$  : es la ganancia del reflector, que se calcula mediante la siguiente relación:

$$G_p = 20 \log \frac{4\pi\eta}{\lambda^2} A_e \quad (\text{db}) \quad (4.15)$$

donde:

$\eta$  : Eficiencia del reflector

$A_e$  : Superficie efectiva del reflector en  $\text{m}^2$

$\lambda$  : Longitud de onda en m.

#### 4.2.7 Ganancia de antena

En un diseño de enlace por microondas es importante determinar la ganancia de la antena, en nuestro diseño usaremos antenas parabólicas, cuya ganancia puede ser calculada a partir de la siguiente relación:

$$G_{(\text{db})} = 10 \log \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (4.16)$$

donde:

$\eta$  : Eficiencia de la antena

$D$  : Diámetro de la antena parabólica (m)

$\lambda$  : Longitud de onda (m)

Así mismo la suma de las ganancias de las antenas debe cumplir la siguiente relación:

$$G_T + G_R = P_r + \Gamma_0 + L_{f_{t,r}} - P_t \quad (4.16)'$$

donde:

$P_r$  : Potencia de recepción (dBm)

$\Gamma_0$  : Pérdida por espacio libre (db)

$L_{f,t,r}$  : Pérdida en los alimentadores del transmisor y receptor (db)

### 4.3 Cálculo de las dimensiones del reflector

Para lograr una eficiencia máxima del reflector pasivo es necesario que el ángulo de incidencia y el reflejado formen con la normal ángulos de 45°.

En la Tabla JJ se muestra un cuadro que relaciona varios arreglos de reflectores:

En el presente trabajo hemos tratado de acercarnos a este valor escogiendo al C° Tocanca Punta como el indicado para la ubicación del reflector.

Para calcular las dimensiones del reflector pasivo es necesario obtener los valores de la atenuación por espacio libre, el cual se calcula de la siguiente ecuación:

$$\Gamma_{01,2} = 10 \log \left( \frac{4 \pi \times d_1 \times d_2}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{db}) \quad (4.17)$$

donde:

$\Gamma_{01,2}$ : Pérdida básica de propagación en el espacio libre para ambos trayectos (db)

- $d_1$  : Distancia de antena transmisora al reflector (m)  
 $d_2$  : Distancia del reflector a la antena receptora (m)  
 $\lambda$  : Longitud de onda (m)

Teniendo los valores de las atenuaciones y ganancias en el trayecto calculamos mediante la fórmula 4.18 la ganancia que necesita en el reflector esté dentro del umbral permisible.

Por lo tanto:

$$G_p = P_r + \Gamma_{01} + \Gamma_{02} - (G_T + G_R) - P_t \quad (\text{db}) \quad (4.18)$$

donde:

$P_r$ ,  $G_T$ ,  $G_R$ ,  $P_t$  : son iguales a la fórmula 4.16'

$\Gamma_{01}$ ,  $\Gamma_{02}$  : son pérdidas de espacio libre mostradas en la fig. 10.

Conociendo la eficiencia de la repetidora así como su ganancia mediante la relación que muestra la fórmula, podemos hallar el área efectiva de la repetidora.

$$20 \log Ae = G_p + 20 \log \frac{\lambda^2}{\eta} - 142 \quad (\text{db}) \quad (4.19)$$

donde:

- $\eta$  : Eficiencia del reflector  
 $Ae$  : Area efectiva del reflector ( $\text{m}^2$ )  
 $\lambda$  : Longitud de onda (m)

por lo tanto el área física del reflector es calculada por:

$$A = A_e / \cos \phi \quad (\text{m}^2) \quad (4.20)$$

donde:

$\phi$  : Angulo que hace la onda directa con la normal (ver fig. 10)

#### 4.4 Diseño del sistema diversidad de espacio

La atmósfera presenta un medio no homogéneo, ya que las características de transmisión del aire cambian con la altura, las horas del día y el lugar donde se hace la propagación del haz. Por lo tanto el índice de refracción de la atmósfera es variable (éste varía con la constante dieléctrica la cual depende de la presión, temperatura y humedad.

Luego el haz radioeléctrico se curvará hacia abajo en ciertas horas del día; para contrarrestar dicha curvatura del haz, es necesario usar la técnica de diversidad de espacio la cual tiene por objeto combinar las dos señales idénticas una recibida por la antena principal y la otra por la diversidad en la misma fase, en la entrada del receptor de microondas.

Luego las antenas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

##### a) ALTURA DE ANTENA

$a_1$ .- Antena principal : para  $K=4/3$ , la claridad debe ser mayor que el radio de la primera Zona de Fresnel.

a<sub>2</sub>.- Antena auxiliar : para  $K=4/3$ , la claridad debe ser mayor que  $2/3$  del radio de la primera Zona de Fresnel.

b) SEPARACION DE ANTENAS ( $h_d$ )

La separación de las antenas debe ser la mitad de la distancia entre los puntos más altos del patrón de variación de la intensidad de la señal a lo largo de la torre. La separación correcta entre las dos antenas es distinta en cada extremo. Por intermedio de la fórmula siguiente calculamos P/2:

$$P/2 = \Delta h_d = \lambda / 2 \theta \quad (4.21)$$

donde:

- $\theta$  : Angulo entre las ondas directa y reflejada (mrad)
- $\lambda$  : Longitud de onda (m)
- $\Delta h_d$  : Separación de antenas (m)
- P/2 : Mitad de la distancia entre los puntos más altos del patrón de variación de intensidad de señal.

#### 4.5 Especificaciones técnicas de las torres para soporte de antena

Las torres deberán ser requeridas para cada estación de acuerdo a los diagramas y perfiles que se adjuntan y a la cantidad de antenas que se usarán en cada estación; incluyendo los materiales de la instalación.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- 1.- Tipo : en las ciudades las torres serán autosoportadas y en algunas estaciones serán soportadas por vientos.
- 2.- Material: Fierro galvanizado al caliente.
- 3.- Sección : Triangular.
- 4.- Construcción : Tubular.
- 5.- Base : de visagra para las torres soportadas por vientos.
- 6.- Velocidad de viento : a 100 Km/h de velocidad del viento y con la disposición más ventajosa de las antenas, la torre no debe variar en el plano horizontal ó en el vertical en más del 1.5%.
- 7.- Luz de valizaje: en las torres se instalarán faros de seguridad para aviones en vuelo conforme a los reglamentos de las autoridades de Aeronáutica Civil, serán de encendido automático y manual.
- 8.- Pintura : anticorrosiva, las torres deben pintarse en los colores reglamentarios, rojo y blanco por secciones.
- 9.- Cimientos: de diseñarse cimientos apropiados para cada torre,debiendo proporcionar la información respectiva.
- 10.- Altura : la altura de las torres será de acuerdo al cuadro

del cálculo del comportamiento del sistema.

- 11.- Escalera: se requiere escalera de acero con peldaños que no estén más de 25 cms. uno del otro.
- 12.- Planos de construcción: debe suministrarse planos y dibujos de las torres y construcciones de montaje de la torre y de las antenas.
- 13.- Pararrayos: el conductor de pararrayos debe estar sólidamente conectado a la torre y debe considerar un sistema de conexión a tierra.

## CAPITULO V

### ANALISIS DEL RUIDO EN LA TRANSMISION

#### 5.1 Estimación del ruido promedio

Para disponer de un servicio eficiente en una red de comunicaciones, es necesario conocer la calidad de la misma.

En el presente capítulo se explica como evaluar la calidad de transmisión, usando los valores de cada tramo. Los factores importantes que se toman en cuenta son el ruido promedio de cualquier canal telefónico y el tiempo de interrupción de los tramos, los cuales son comparados con las recomendaciones del C.C.I.R.

#### 5.5.1 Ruido térmico

El ruido térmico es el ruido básico en todas las telecomunicaciones. En un sistema de hilos, las señales telefónicas se transmiten tal como son en la banda de frecuencia de transmisión se transfiere a otra posición en el sistema de multicanalización mediante la Modulación

de amplitud.

Por consiguiente, basta estar alerta acerca de la potencia de ruido y su distribución de frecuencia.

Pero en un sistema de microondas, es necesario analizar la influencia que se ejerce en el rendimiento al superponer el ruido térmico sobre la onda modulada en frecuencia, por lo que las señales son transmitidas mediante un método de modulación de frecuencia.

Para poder comprender mejor el ruido térmico, es necesario hacer las siguientes definiciones:

a) PERDIDA TOTAL

La pérdida total es la suma de todas las pérdidas sufridas por la señal en su recorrido:

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida Total} &= \text{Pérdida por Difracción} + \text{Pérdida por espacio libre} + \text{Pérdidas adicionales} \\
 & \dots\dots(5.1)
 \end{aligned}$$

b) ATENUACION DEL SISTEMA

La atenuación del sistema la podemos definir como:

$$\begin{aligned}
 \text{Atenuación del sistema} &= \text{Pérdida total} \quad ( G_T + G_R ) \quad (5.2)
 \end{aligned}$$

donde:

$G_T$  y  $G_R$  : Ganancias de antenas transmisora y receptora respectivamente

### c) VALOR DEL SISTEMA

El valor del sistema lo podemos definir de la siguiente manera:

$$\text{Valor del sistema} = \frac{\text{Atenuación del sistema}}{\text{S/N}} \quad (5.3)$$

El ruido térmico dependiente del trayecto está en función de la relación señal-ruido (S/N), mediante la siguiente relación;

$$S/N = \frac{P_r \Delta f^2}{F K T B (f)^2} \quad (5.4)$$

donde:

- $P_r$  : Potencia de recepción (dBm)
- $F$  : Numero de ruido (db)
- $K$  : Constante de Boltzmann ( $1.37 \times 10^{-23}$  joule/k)
- $T$  : Temperatura absoluta (300°K)
- $B$  : Ancho de banda de un canal telefónico (3.1 KHz)
- $f$  : Frecuencia del canal más alto
- $\Delta f$  : Desviación de frecuencia

Simplificando:

$$S/N \text{ (db)} = P_r \text{ (dBm)} - 10 \log KTB - F + 20 \log \frac{\Delta f}{f} \quad \dots\dots(5.5)$$

Si hacemos:

$$A = 20 \log (\Delta f / f) \quad (5.6)$$

donde:

A : valor de corrección, según la capacidad de canales telefónicos del enlace y de la desviación de frecuencia en db.

El valor de A lo podemos hallar de la tabla N° III.

Reemplazando valores y simplificando:

$$S/N \text{ (db)} = P_r \text{ (dBm)} + A - F + 139 \quad (5.7)$$

#### d) POTENCIA DE RECEPCION ( $P_r$ )

Depende de las atenuaciones que sufre la señal en el trayecto y a las ganancias que le dan las antenas en la transmisión y en recepción.

Este valor debe ser mayor al valor del nivel de umbral del receptor, esta potencia de recepción está dada por la siguiente ecuación:

$$P_r = P_t + G_T + G_R - A_t \quad (5.8)$$

donde:

- $P_t$  : Potencia de transmisión (dBm)  
 $G_T$  : Ganancia de antena transmisora (db)  
 $G_R$  : Ganancia de antena receptora (db)  
 $A_t$  : Atenuación total (db)

Así mismo a continuación se dan algunas definiciones que se relacionan con la potencia de recepción:

- $P_{rs}$  : Potencia estandar a la entrada del receptor, la definimos de la siguiente manera:

$$P_{rs} = P_r - F_d \quad (5.9)$$

donde:

- $P_r$  : Potencia de recepción (db)  
 $F_d$  : Pérdida por desvanecimiento de la señal (db)  
 $P_{rm}$  : Potencia mínima requerida a la entrada del receptor.

$$P_{rm} = P_n + (S/N)_t \quad (5.10)$$

donde:

- $P_n$  : Potencia de ruido de recepción (db)  
 $(S/N)_t$  : Relación señal-ruido total (db)  
 $P_{th}$  : Potencia umbral

$$P_{th} = P_n + S/N \quad (5.11)$$

donde:

$P_n$  : Potencia de ruido de recepción (db)

S/N : Relación señal-ruido (db)

$$P_n = 10 \log K T B F \quad (5.12)$$

simplificando:

$$P_n = -174 + 10 \log B + F \quad (5.13)$$

donde:

B : Ancho de banda de un canal telefónico (3.1 Khz)

F : Número de ruido (db)

#### e) POTENCIA DE RUIDO ( $P_w$ )

Es muy importante conocer el ruido térmico total para poder evaluar la calidad de la señal y evitar así estar fuera de las normas internacionales que rigen la transmisión.

La potencia de ruido se calcula en pico-watt por la siguiente relación:

$$N_o = 10^{(90 - (S/N)) / 10} \quad (5.14)$$

### 5.1.2 Ruido de interferencia

A parte del ruido térmico los sistemas de Relevadores Radioeléctricos están afectados también por otros ruidos debido a la interferencia.

Algunos de éstos ruidos pueden provenir de fuentes diferentes, algunas guardan relación directa con la construcción del equipo (por ejemplo selectividad de los receptores, protección del equipo, directividad de las antenas, etc.) mientras otras vienen de la planificación del sistema (por ejemplo, acoplamiento indeseable entre canales resultantes de la elección de la frecuencia, etc.)

De acuerdo a lo antes dicho podemos dividir al ruido de interferencia en fijos y variables.

#### FACTORES DE DEGRADACION CONSTANTE

Este ruido es generado independientemente de la ocurrencia de desvanecimientos e incluye las interferencias siguientes:

##### a) INTERFERENCIA POR ECO

La interferencia por eco se produce en la antena o en los filtros, siendo su valor permisible 40 db.

##### b) INTERFERENCIA F/B (FRONT TO BACK) DE LA ANTENA DE TRANS.

Esta interferencia ocurre en el caso en que la Onda

deseada y la Onda no deseada pasan por el mismo salto o tramo de la ruta y son al mismo tiempo influidas por el desvanecimiento, la magnitud de ésta interferencia está determinada por la directividad de las antenas de transmisión, su ruido permisible es de 39 db.

c) INTERFERENCIA POR INTERPOLARIZACION

Esta interferencia cuando las polarizaciones vertical y horizontal se usan al mismo tiempo y en la misma frecuencia, éste ruido está determinado por la característica de interpolarización y el valor permisible es de 20 db.

d) INTERFERENCIA ENTRE CANALES ADYACENTES

La magnitud de este ruido depende de la asignación de las frecuencias. En el caso de una separación de 14 mhz. entre canales adyacentes, la relación S/N permisible para éste factor es de 27 db.

e) INTERFERENCIA POR LA FRECUENCIA IMAGEN

Se introduce en los mezcladores del transmisor o receptor. El valor permisible es de 40 db.

f) INTERFERENCIA ENTRE TRANSMISION Y RECEPCION

Esta interferencia ocurre en el caso en que el transmisor y el receptor están conectados en la misma estación.

## FACTORES DE DEGRADACION VARIABLE

Este factor de ruido varía de acuerdo con las condiciones del trayecto de propagación, tales como desvanecimientos ó intensidad de lluvias (en caso de frecuencias mayores de 10 Ghz).

### a) RUIDO TERMICO

Este ruido es introducido por el repetidor y es determinado por la anchura de pasa banda del repetidor, el número de ruido del receptor, la potencia a la entrada del receptor, etc. el valor permisible es de 24.5 db.

### b) RUIDO DE INTERFERENCIA

En la misma ruta:

#### b-1) INTERFERENCIA F/B (FRONT TO BACK) DE LA ANTENA EN RECEPCION

Esta interferencia se produce solo cuando la onda deseada se encuentra bajo los efectos del desvanecimiento. En este caso la onda interferente o no deseada tienen una trayectoria básicamente en otro salto o tramo de la misma ruta. Para este caso la relación señal-ruido está determinada por la directividad de la antena de en recepción. Su valor permisible es de 27 db.

**b-2) INTERFERENCIA DE SOBRE-ALCANCE O/R (OVER REACH)**

Si se sobrepasan dos estaciones, la frecuencia emitida por la primera estación interfiere a la misma frecuencia de recepción de la última. La relación S/N se mejora con la directividad de la antena de transmisión y recepción, la relación S/N no debe ser menor de 40 db.

**b-3) INTERFERENCIA F/S (FRONT TO SIDE)**

Esta interferencia se origina en el circuito de derivación. la relación S/N necesario es de más de 29 db.

**POR OTRA RUTA**

Para este caso la relación S/N tiene que ser mayor de 29 db. En nuestro diseño se ha tomado en cuenta de no sobrepasar los límites permisibles de interferencia, para lo cual se ha tomado en consideración los siguientes aspectos:

- a) Las frecuencias de transmisión y recepción en nuestros enlaces difieren entre ellas y con los enlaces de las estaciones de ENTEL PERU.
- b) Se ha tomado en cuenta las polarizaciones de las antenas para la frecuencia de transmisión y recepción.

- c) La directividad de las antenas es otro de los factores que ayudará a superar el ruido de intermodulación.

### 5.1.3 Ruido de intermodulación

Depende de la capacidad de canales con que ha sido diseñado el sistema. Una de las causas que contribuye de manera determinante al aumento de éste ruido, es la no linealidad de los Moduladores y Demoduladores, así como de los Amplificadores. Es por esta razón que al elegirse los equipos que se van a usar, hay que poner especial atención en ésta característica.

Los valores que dá el fabricante para los equipos de - 120/300 canales son:

Ruido de Intermodulación por modulador	32Pw
- Ruido de Intermodulación por Demodulador	32Pw
- Ruido de Intermodulación por Transmisor-Receptor	40Pw

### 5.1.4 Interrupción por desvanecimiento

La interrupción de un sistema de enlace ocurrirá, cuando el ruido total exceda un valor a  $10^6$  Pw. Las causas principales que originan ésta interrupción por desvane-

cimiento son entre otras:

a) DESVANECIMIENTO DEBIDO A LA PROPAGACION POR TRAYECTOS MULTIPLES

La señal total es la suma del rayo directo y de uno o más rayos indirectos; éstos últimos se propagan por trayectos que se hallan encima o debajo de la señal directa y que tienen una longitud variable a causa de las modificaciones fortuitas que ocurren en las capas atmosféricas que atraviesan los rayos que se suman a la señal directa y hacen que la intensidad varíe.

b) DESVANECIMIENTO DEBIDO A LA FORMACION DE CONDUCTOS

La propagación a través de conductos puede dar lugar a desvanecimientos prolongados o al aumento de intensidad de la señal sobre todo cuando el transmisor o el receptor se encuentran en el interior del conducto. Las señales pueden quedar capturadas dentro del conducto y propagarse mucho más del horizonte.

c) DESVANECIMIENTO DEBIDO A LA LLUVIA

Es debido a la absorción y dispersión del haz de microondas por el agua, el vapor de agua y la lluvia. Reviste importancia únicamente en frecuencias mayores de 10 Ghz, pero su efecto es notable en frecuencias tan bajas como 6 Ghz. Únicamente las lluvias

muy intensas pueden provocar una interrupción total de un enlace de microondas.

d) DESVANECIMIENTO DEBIDO A LA REFLEXION

Cuando en un tramo de propagación con reflexión en la tierra, se suma una variación de K por cambio de los elementos atmosféricos, la diferencia de las trayectorias de Onda Directa y Onda Reflejada varíe a su vez, por lo tanto la intensidad de campo también.

En los sistemas de relevadores Radioeléctricos una pequeña diferencia de trayectorias provoca bastante variación de fase, lo que produce una fluctuación en la señal recibida.

5.1.5 Influencia del desvanecimiento en la confiabilidad de los sistemas de relevadores radioeléctricos

Cuando se proyecta un enlace radioeléctrico se debe estimar la calidad de transmisión y en consecuencia la probabilidad de interrupción de las señales, debido al desvanecimiento.

Gracias a las múltiples mediciones efectuadas a nivel mundial, se ha permitido establecer distribuciones estadísticas que más o menos siguen las variaciones del des

vanecimientos. De estas distribuciones la más importante son la Normal y la Gamma y entre la distribución Gamma, la distribución RAYLEIGHT.

Las estimaciones estadísticas son solo orientadoras, las mediciones en el terreno son las que darán resultados más exactos.

#### 5.1.6 Margen de desvanecimiento ( $F_d$ )

Las ondas de radio en la banda de 2 Ghz. se propagan con una atenuación despreciable, debido a nieve, lluvia y la atmósfera, pero con influencia considerable debido al desvanecimiento. De todos los tipos de desvanecimiento RAYLEIGHT es el que más afecta la calidad de transmisión su probabilidad de ocurrencia se obtiene por:

$$P_R = \frac{f}{4}^{1.2} \cdot Q \cdot d^{3.5} \quad (5.15)$$

donde:

Q : Coeficiente del trayecto

Zona montañosa :  $2.1 \times 10^{-9}$

Llano :  $5.1 \times 10^{-9}$

Mar o playa :  $1.9 \times 10^{-8} \times (\sqrt{1/h} / 0.05)$

f : Frecuencia de radio (Ghz)

d : Distancia del tramo (Km)

Ya que la tasa de error puede exceder de  $10^{-6}$  solamente dentro del 0.005% de cualquier mes sobre un tramo de radio, el tiempo de interrupción por desvanecimiento se calcula por:

$$T = 0.005 \% \times \frac{d}{D} \quad (5.16)$$

donde:

D : Distancia total del enlace

d : Distancia del tramo en Km

La relación de la potencia recibida en desvanecimiento a la potencia de recepción normal es proporcional a la relación del período de interrupción permisible para un tramo de radio a la probabilidad de ocurrencia de desvanecimiento RAYLEIGHT. Por lo tanto, la potencia de transmisión solamente debe aumentarse por la cantidad del margen de desvanecimiento , calculado por:

$$F_d = 10 \log P_R - 10 \log T \quad (5.17)$$

donde:

$P_R$  : Probabilidad de ocurrencia tipo RAYLEIGHT

T : Tiempo de interrupción por desvanecimiento

Ya que la tasa de error puede exceder de  $10^{-6}$  solamente dentro del 0.005% de cualquier mes sobre un tramo de radio, el tiempo de interrupción por desvanecimiento se calcula por:

$$T = 0.005 \% \times \frac{d}{D} \quad (5.16)$$

donde:

D : Distancia total del enlace

d : Distancia del tramo en Km

La relación de la potencia recibida en desvanecimiento a la potencia de recepción normal es proporcional a la relación del período de interrupción permisible para un tramo de radio a la probabilidad de ocurrencia de desvanecimiento RAYLEIGH. Por lo tanto, la potencia de transmisión solamente debe aumentarse por la cantidad del margen de desvanecimiento, calculado por:

$$F_d = 10 \log P_R - 10 \log T \quad (5.17)$$

donde:

$P_R$  : Probabilidad de ocurrencia tipo RAYLEIGH

T : Tiempo de interrupción por desvanecimiento

## 5.2 Mejoramiento por interrupción

Para el diseño del sistema debemos prever medios por el cual podamos mejorar el tiempo de interrupción por desvanecimiento, lo cual podemos lograr haciendo uso de los siguientes sistemas:

### a) SISTEMA DE DIVERSIDAD DE FRECUENCIA

Logramos mediante este sistema; poseer un canal de reserva con uno principal, cada uno con diferente frecuencia. Al sufrir el canal principal desvanecimientos, se conmutará con el canal de reserva el cual evitará la interrupción de la transmisión.

### b) DIVERSIDAD EN EL ESPACIO (IGUAL FRECUENCIA)

En este método se utilizarán dos antenas receptoras instaladas a diferente alturas para la simultaneidad del desvanecimiento de las dos señales, que se propagan por distintos trayectos atmosféricos.

## 5.3 Evaluación de la calidad de transmisión

Para realizar la evaluación de la calidad del sistema, se debe comparar con las recomendaciones del C.C.I.R. que recomienda lo siguiente:

## RECOMENDACION 395-1

"Que los circuitos establecidos en enlaces reales cuya constitución difiere notablemente, por exigencias de la planificación, de la del circuito de referencia, se proyectan de la manera que la Potencia Sofométrica del ruido en un punto de nivel relativo CERO de un canal telefónico de longitud  $L$ , comprendida entre 50 y 2,500 Km. constituido por una o más secciones de las frecuencias de Banda Base de un sistema de relevadores radioeléctricos para telefonía multicanal, con distribución de frecuencia sea tal que:

a) PARA  $50 \text{ Km} < L < 840 \text{ Km}$ 

a-1 Su valor medio durante un minuto no sea superior a  $3 L_{pw} + 400$  durante más del 20% de cualquier mes.

a-2 Su valor medio durante una hora cualquiera no sea superior a 47,500 pw durante más de  $(280/2500) \times 0.1 \%$ , de cualquier mes cuando  $L$  sea inferior a 280 Km, si mas de  $(L/2500) \times 0.1\%$  de cualquier mes, cuando  $L$  sea superior a 280 Km.

De acuerdo a la recomendación 395-1 del C.C.I.R. debemos hacer la evaluación de nuestro sistema y lo que a ruido se refiere sumando todas las fuentes de ruido existentes y comparándola con la que da la recomendación. Así tenemos que las fuentes de ruido a sumarse, son las siguientes:

- 1) Ruido térmico dependiente de la trayectoria.
- 2) Ruido de interferencia:
  - a) Ruido de interferencia
  - b) Ruido térmico del modem
  - c) Ruido de interferencia de alimentadores.

Para poder hallar la fracción de mes en la que el valor medio de ruido alcanza los 47,500 pw, es necesario hacer uso de la siguiente relación:

$$t = \mathcal{L} P \frac{N_0}{47,500} \quad (5.18)$$

donde:

$t$  : Fracción del mes

$\mathcal{L}$  : Factor de seguridad

$\mathcal{L} = 1$  sin reflexión

$\mathcal{L} = 2$  con reflexión

$P$  : Probabilidad que el desvanecimiento siga la distribución RAYLEIGHT

$N_0$  : Ruido térmico triangular en Pwop de cada salto.

La fracción "t" se da en porcentaje.

## PROBABILIDAD DE INTERRUPCION

Con respecto a esto existen dos recomendaciones:

## RECOMENDACION 393:

Esta recomendación resuelve que en la sumatoria de la probabilidad de desvanecimiento en cada tramo no debe exceder a :  
 $4 L \times 10^{-8}$  pw o sea:

$$\text{SUM } P_i < 0.01 \times \frac{L}{2500} \times 10^{-2} = 4 L \times 10^{-8} \quad (5.19)$$

donde:

$P_i$  : Probabilidad de que el ruido exceda  $10^6$  pw no ponderados

$L$  : Longitud total del enlace (km)

## RECOMENDACION 395

Recomienda para distancias menores de 280 Km la sumatoria de la probabilidad de desvanecimiento no debe exceder a  $1.12 \times 10^{-4}$  pw.

$$\text{SUM } P_i < \frac{280}{2500} \times 0.1 \times 10^{-2} = 1.12 \times 10^{-4} \quad (5.20)$$

Y para tramos mayores que el anterior o igual, la sumatoria de la probabilidad de desvanecimiento no debe exceder a  $4L \times 10^{-7}$  pw.

$$\text{SUM } P_i < \frac{L}{2,500} \times 0.1 \times 10^{-3} = 4L \times 10^{-7} \quad (5.21)$$

#### 5.4 Confiabilidad del sistema de propagación

La calidad de un sistema de radio enlace por microondas está determinado por la menor probabilidad de falla de propagación que experimenta el enlace durante todo el tiempo de transmisión; todo es expresado en segundos.

Cuando menor sea el tiempo de interrupción, mayor será la confiabilidad del sistema.

#### 5.5 Confiabilidad del sistema de energía

En cuanto a la energía suministrada en cada uno de los casos; por forma comercial o por generadores propios, este suministro se verá garantizado debido a la existencia de baterías que en el caso de falla del fluido eléctrico, entran en funcionamiento en forma automática, siendo su duración de 12 horas y dando lugar y tiempo para reparar la avería, salvaguardando de esta manera la confiabilidad de este suministro.

## CAPITULO VI

### EQUIPOS Y CANALIZACION

#### 6.1 Equipos a emplearse en el sistema

Un sistema de radioelevadores de microondas prevee la instalación del equipo electrónico, del equipo generador de energía eléctrica y de las antenas con sus torres.

Hasta ahora se ha considerado todo lo relacionado con el diseño de radioenlace tanto de propagación como de las diferentes fuentes de ruido.

En el presente capítulo se determinarán las características - principales de los equipos, en general, para poder así de esta manera, llevar a cabo nuestra comunicación entre las S.E. Chim bote 1 y en C.H. Cañón del Pato.

#### 6.2 Conformación de radioenlaces

Una forma de evitar la interrupción de la señal ya sea por causa del desvanecimiento durante la propagación o por corte de la

señal debido a las pruebas de mantenimiento periódico, es lograr que nuestro sistema cuente con dos canales para la señal, lográndose con ello una alta confiabilidad.

#### 6.2.1 Canal principal y reserva

El canal principal es por donde se efectuará el envío de los 60 canales telefónicos.

El canal de reserva es con el objeto de elevar la calidad y en forma especial la confiabilidad de la red, se ha equipado una ruta de reserva para casos de falla en el enlace principal y que consta con una determinada frecuencia.

A este sistema se denomina 1+1 (un circuito de reserva por uno principal).

#### 6.2.2 Sistema de supervisión y control

Está dirigido a racionalizar el mantenimiento y la operación del sistema de microondas.

Provee las siguientes facilidades:

- a) Función de supervisión y monitoreo de las informaciones de alarma de la estación supervisada.

- b) Operación de control desde las estaciones de supervisión a la estación supervisada.
- c) Operación de conmutación del canal de trabajo al de reserva en el caso de fallas en el canal de operación.
- d) Señales de control remoto para controlar el sistema de energía, tanto para su encendido como para su conmutación.

Debe constar además de un sistema de línea de orden; el sistema de supervisión y control está provisto de líneas de orden con el objeto de mantener comunicación telefónica para el mantenimiento y la operación del circuito de microondas.

### 6.2.3 Sistema multiplex

La ruta del sistema está capacitado para 60 canales y sus características del sistema multiplex son:

#### a) SISTEMA DE TRANSMISION

El equipo multiplex divisor se frecuencia (FDM) se usa para el sistema de transmisión de todos los canales telefónicos que forman parte integrante del presente proyecto.

## b) CAPACIDAD DE TRANSMISION

La capacidad de canales es vista de 60 canales telefónicos.

## c) BANDA BASE DE FRECUENCIAS DE TRANSMISION

La banda base es de 60 KHz a 300 KHz.

## d) EQUIPOS DE TRASLACION DE FRECUENCIAS

La distribución de los equipos terminales de un sub-sistema multiplex deberá ser distribuido en la estación terminal.

Las corrientes de habla son alimentadas desde el distribuidor de voz al equipo de terminación, luego pasan al equipo de trasladador de canal donde se modula en 2 fases de canal y de pregrupo y son enviadas al equipo trasladador de grupo mediante el bastidor de distribución de grupo (GDF).

La señal que se obtiene a la salida del trasladador de grupo pasa al bastidor de distribución de supergrupo (SGD).

Luego que ha sido modulado por el trasladador de supergrupo. A estas señales se les denomina señales de Banda Base.

#### 6.2.4 Sistemas de energía

Es aquel que suministra la potencia o alimentación a todos los equipos de radio; este sistema está constituido por la combinación de baterías, cargador de baterías, - grupo motor-generador, celdas solares, reguladores automáticos de tensión y son capaces de suministrar la corriente continua.

El manejo de los equipos de potencia debe hacerse tomando precauciones extremas debido a que por naturaleza es totalmente diferente a los otros equipos electrónicos, debido a su alto voltaje, alta corriente y la naturaleza de la máquina rotativa.

En nuestro proyecto se ha previsto la utilización de Generadores Termoeléctricos y celdas solares, la utilización de estas fuentes de alimentación será de acuerdo a la ubicación de la estación.

En la C.H. Cañón del Pato la alimentación será directamente de los servicios auxiliares, como sistema de emergencia se instalará un banco de baterías.

En el Cº Limacllán debido a la ubicación y a la accesibilidad del mismo es que se ha previsto la utilización de celdas solares.

En el C<sup>o</sup> Ulto Cruz, similarmente se utiliza celdas solares.

En el C<sup>o</sup> Tambo Real se utilizará un GTE.

En la S.E. Chimbote 1 la alimentación será de los servicios auxiliares; con su respectivo banco de baterías

En el anexo B se determinan los cálculos del sistema de energía de las diferentes estaciones y repetidoras.

Con relación a las repetidoras que serán alimentadas con celdas solares, en la Tabla IV se hace una estimación de la radiación solar en la Sierra.

#### 6.2.5 Torres de antena

Las torres para la transmisión de la señal de microondas tendrá una gran diferencia respecto a las de otros sistemas, ya que su construcción e instalación debe ser tal que sólo se permita una variación de torsión máxima de 1°.

En el Perú no hay constructor que garantice la solidez del material, por esta razón es que se tiene que recurrir a la importación del mismo, o a torres ya construídas, repercutiendo esto en los costos.

El valor de las torres dependerá pues de las variaciones de la moneda en el mercado internacional. También cabe notar que no es igual calcular el costo de las torres para toda una red, que para sólo 3 estaciones.

Uno de los factores importantes a considerarse en los costos de las torres es la altura de la misma.

### 6.3 Características de los equipos de microondas

La estructura típica del equipo de un enlace de microondas está formado por el Modulador-Demodulador, el Transmisor y el Receptor.

El equipo Transmisor, se compone normalmente de las partes siguientes:

- a) Amplificador de FI de transmisión
- b) Oscilador local de transmisión
- c) Mezclador de transmisión
- d) Filtros de Radio frecuencia
- e) Amplificador

y el equipo Receptor de:

- a) Filtros de Radio frecuencia
- b) Oscilador local de recepción

c) Mezclador de recepción

d) Amplificador de frecuencia intermedia con control automático de ganancia (CAG) y ecualizador de fase.

CAPITULO VII  
ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

7.1 Generalidades

En el presente capítulo se presentan algunas consideraciones económicas respecto al equipamiento y construcción del sistema; estas consideraciones estarán sujetas a las variaciones económicas del mercado internacional.

Se dan estas consideraciones porque pensamos que todo proyecto técnico que tenga una proyección, debe ser realizable y calcular si económicamente es factible su realización.

Los costos que se dan a continuación corresponden a los equipos de radio, a la construcción de las estaciones y de la instalación.

7.2 Evaluación de costos del proyecto

7.2.1 Costos de los equipos y demás componentes

Los equipos de radio estará conformado por los siguientes

./.

tes equipos:

- a) Equipo Transmisor/Receptor
- b) Equipo Modulador/Demodulador (MODEM)
- c) Equipo Multiplex
- d) Equipo de Control de Diversidad
- e) Equipo de Supervisión y Control
- f) Unidad de Conmutación 1+1

Además en otro ambiente de la estación (terminal o repetidora) se encontrará el sistema de energía, conformado por:

- a) Motor Generador ó Celdas Solares
- b) Regulador de tensión
- c) Cargador de baterías
- d) Baterías
- e) Tanques de combustible

Y en la parte externa de la estación se encontrarán:

- Las torres,
- Antenas

Todo lo antes mencionado se verá correctamente distribuido para las estaciones.

### 7.2.2 Costos del equipamiento e instalación

Se presenta a continuación el presupuesto estimado, válido para el mes de Julio de 1986, para el cual se ha tomado en cuenta la alternativa elegida para la estructura de la Red.

El presupuesto se ha calculado a suma alzada y se ha considerado que la mayoría de equipos y materiales son adquiridos en el extranjero, incluyendo las torres para antena, debido a que, para torres arriostradas y mayores de 50 metros autosoportadas, no se cuenta con la debida experiencia local. Las torres autosoportadas de menor altura si pueden ser provistas por la industria nacional, lo cual debe ser considerado en las especificaciones técnicas.

El presupuesto tiene el carácter de base y, por tanto, no se ha considerado gastos de financiamiento, intereses durante la construcción, supervisión y gastos administrativos.

COSTOS DEL EQUIPAMIENTO E INSTALACION

1.- Equipo de Radio, Multiplex y Combinadores	US\$	220,000
2.- Antenas, línea de alimentación y conectores		54,500
3.- Torres para antenas		20,000
4.- Equipo de Supervisión y Control		78,000
5.- Sistema de alimentación		48,000
6.- Equipos de mantenimiento		12,000
7.- Repuestos		24,000
8.- Embalaje, Transporte internacional y seguros		90,000
9.- Verificación de los parámetros de diseño		30,000
10.- Ingeniería del Sistema		15,000
11.- Montaje, Transporte local , pruebas y operación experimental		90,000
12.- Obras civiles, Casetas y Caminos de acceso		10,000
13.- Entrenamiento del personal de mantenimiento		5,000
		<hr/>
GRAN TOTAL	US\$	696,500
		=====

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Se ha estudiado una Red de Microondas que cubre las instalaciones de la Red interconectada del Norte Medio del Perú, planificada para extenderse con facilidad hacia las Regiones Central y Sur, de manera de llegar a establecer un sistema coherente de Radio-enlaces direccionales.
- 2.- Los de la Red se han efectuado considerando los objetivos de ruido del C.C.J.R.y una confiabilidad de 99.99%. Los objetivos de ruido considerados son más estrictos que los utilizados en los sistemas industriales. La confiabilidad asumida se considera suficiente tomando en cuenta que para las instalaciones de potencia se cuenta con otros medios de comunicación y se debe mantener también los costos razonables de inversión de la Red de Microondas.
- 3.- Para los enlaces en los que se ha encontrado valores importantes de la onda reflejada con relación a la onda directa, se ha considerado la diversidad de espacio, de manera de obtener los valores de diseño de la Red de Microondas.

- 4.- Se requieren equipos de mucha flexibilidad que permitan la inserción y derivación de los canales en las estaciones intermedias.
- 5.- De las evaluaciones efectuadas, se ha establecido que para la estación de Tambo Real en la Costa el sistema de alimentación más conveniente es el de Termogeneradores (GTE) y, en la zona de la Sierra, la alimentación debe hacerse mediante Celdas Solares. En ambos casos se debe utilizar un Banco de baterías con una capacidad en A-H conveniente, tomando en cuenta la carga a ser atendida y el sistema de alimentación utilizado.
- 6.- Se ha considerado la construcción de casetas de material noble con facilidades de acceso vehicular, por la estación ubicada en la Costa, con el fin de atender el abastecimiento de combustible. La disposición de los equipos y las construcciones a efectuarse se harán de manera de atender la seguridad de las instalaciones frente a posibles atentados en donde está incluida la construcción de una cerca perimetral para las estaciones más vulnerables.
- 7.- El presupuesto base para la construcción de la Red de Microondas de la REgión Norte Medio es de US\$ 696,500.

## BIBLIOGRAFIA

- ENGINEERING CONSIDERATIONS FOR MICROWAVE COMMUNICATIONS SYSTEMS, CENRURT ELECTRIC CO. INC. CALIFORNIA, USA, JUN. 1970
- MANUAL DE DISEÑO DE ENLACES POR MICROONDAS, TOMIYOSHI DEGUCHI; INICTEL; LIMA-PERU, 1976
- POWER SYSTEMS COMMUNICATIONS: MICROWAVE LINE OF SIGHT (LOS); BULLETIN 66-6, REA, USA, JUN. 1978
- PROYECTO SHEQUE/TRANSVASE MANTARO; RED DE MICROONDAS INFORME DEL ESTUDIO; GERENCIA TECNICA, ELECTROPERU S.A. FEB. 1983, LIMA-PERU

