

Liliana O.
16/12/17

18/11/2015
Ing. María José Nieto Morán
ASISTENTE DE ACTIVOS FIJOS - CIB

574

03 SEP 2018

Liliana O.

1/05/18
Liliana

621-3813

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA



D-6574

CIB

"ANALISIS DE LA RED TRONCAL DE MICROONDAS
DEL IETEL TRAYECTO SAN JUAN - GUAYAQUIL"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICO

ESPECIALIZACION ELECTRONICA

POR:

WALTER ENRIQUE FRANCO MURILLO

GUAYAQUIL - ECUADOR

OCTUBRE 1980

TITULO DE TESIS


"ANALISIS DE LA RED TRONCAL DE MICROONDAS
DEL IETEL TRAYECTO SAN JUAN - GUAYAQUIL"

DIRECTOR DE TESIS



.....
Ing. Carlos Becerra E.

AUTOR



.....
Walter E. Franco M.

DECLARACION EXPRESA

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, son de mi exclusiva responsabilidad, y que el patrimonio intelectual de la misma, corresponden a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL ECTORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL, que me brindó la o
portunidad de realizarme.

AL INSTITUTO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES
por el apoyo prestado en la reali
zación del presente trabajo.

Al ING. CARLOS BECERRA E., Direc
tor de Tesis, por su valiosa
guía y colaboración en el de
sarrollo del presente trabajo.

A todos mis profesores.

DEDICATORIA

Con todo cariño a mi padre:

KLEBER FRANCO CRUZ

guía y ejemplo que hizo posible cumplir esta etapa.

A mi esposa ELIZABETH, por
su ayuda y comprensión.

A mi Madre y Hermano Kleber,
como muestra de cariño y
superación.

A mis Hijos y Hermanos con
mucho amor.

CAPITULOS

	Pág.
I. GENERALIDADES	1
II. COMPOSICION GENERAL DE LA RED TRONCAL	7
III. ANALISIS DE LOS TRAYECTOS	15
Trayecto: San Juan (Quito) - Chasqui	
Trayecto: Chasqui - La Mira	
Trayecto: La Mira - Carshau	
Trayecto: Carshau - Guayaquil	
IV. COMPOSICION GENERAL DEL ANALISIS PARA CADA UNO DE LOS TRAYECTOS	21
IV. 1 Distribución de la atenuación	21
IV. 2 Cálculo de la atenuación de espacio libre	29
IV. 3 Perfil del trayecto. Generalidades. Gráficos	30
IV. 4 Cálculo de las zonas de Fresnel. Configuración Gráfica de Fresnel	34
IV. 5 Cálculo de la curvatura de la tierra ($K = 4/3$, $K = 2/3$)	37
IV. 6 Cálculo del punto de reflexión. Determinación de la altura de antenas	49
IV. 7 Análisis de la evanescencia en la propagación electromagnética del trayecto	72

	Pág.
IV. 8 Análisis de la distribución del ruido. Ruido básico y de intermodulación	75
IV. 9 Margen de desvanecimiento. Umbral de ruido	73
IV.10 Balance de ruido en el enlace	80
IV.11 Ruido térmico de los receptores para un tiempo sin desvanecimiento	89
IV.12 Balance del ruido para el canal superior del enlace	96
IV.13 Esquema para el balance de ruido	99
IV.14 Análisis de protección contra la evanescencia	99
IV.15 Diversidad de espacio y frecuencia	103
V. ESTUDIO DE LA EVANESCENCIA TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUITO) - GUAYAQUIL	106
VI. DISTRIBUCION DEL RUIDO TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUITO) - GUAYAQUIL (Relativo al circuito de referencia del CCIR de 2500 km.)	113
VII. VALOR DEL SISTEMA	119
Generalidades. Cálculos	
Cálculos de la relación S/N del trayecto San Juan Guayaquil, en la banda de los 6 GHz. Cálculo de la relación S/N en el peor canal vocal	

	Pág.
VIII. LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTA RED TRONCAL EN SU UTILIZACION PARA TRANSMISIONES DE:	
a) Tráfico telefónico	
b) Televisión	
c) Teleimpresión	
d) Datos digitales	127
IX. CONCLUSIONES	133
X. SUGERENCIAS	133
Apéndices	168
Bibliografía	176

Capítulo 1

GENERALIDADES

I. - GENERALIDADES

“ El objetivo principal de esta tesis, es efectuar un análisis técnico-económico en la planificación de la red troncal de microondas San Juan-Guayaquil realizada por el IETEL, evaluando de esta forma las ventajas y desventajas de la red, así como también, sugerir recomendaciones para optimizar su funcionamiento.”

El Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones, IETEL, es el organismo encargado de planificar, instalar y controlar las comunicaciones en nuestro país; por ello, conciente de su gran responsabilidad de llegar a una eficiencia económica máxima con gastos mínimos y utilizando de la manera más eficiente los equipos y personal existente, inició su planificación con planes a corto y largo plazo-bianual y quinquenal-; de aquí que las etapas de planificación se ejecutaron y actualmente se inician de acuerdo a un orden cronológico establecido.

A fin de unir a los pueblos incrementando su progreso y desarrollo, el IETEL se propuso en orden de prioridad, desarrollar el área de las telecomunicaciones a larga distancia -RED INTERURBANA MANUAL SEMI-AUTOMÁTICA Y AUTOMÁTICA-. Fue así como en el año de 1970 se instala el primer sistema de microondas tipo Raytheon (Canadá) con una capacidad de 600 cana

les telefónicos mas un canal de T.V. entre Guayaquil y Quito, mediante la utilización de 4 estaciones repetidoras de banda base en los sitios denominados Atacazo, Bombolí, San Javier y Cochabamba. Proyecto altamente necesario por ser las dos ciudades ejes en el desarrollo económico y administrativo de nuestro país. Esta instalación no deja mayor experiencia en el diseño de la red y costo de los equipos por no tener personal técnico capacitado.

En el año de 1976 con el fin de renovar sus sistemas de comunicaciones a banda ancha tanto nacionales como internacionales, el IETEL convoca a licitación internacional para la provisión de un sistema troncal nacional de telecomunicaciones, debido a la saturación de tráfico en la denominada ruta troncal de la costa.

La planificación e implementación del sistema troncal nacional de radio enlace por microondas para su óptimo funcionamiento al mínimo costo, resultó una tarea bastante compleja, surgiendo algunos problemas de orden técnico y económico.

Son varias las facetas u órdenes, componentes indispensables para la planificación y diseño de un sistema de microondas. La básica función de un sistema de radio enlace es transmitir señales multiplex en división de frecuencia (FDM)

y/o señales de televisión sobre estaciones repetidoras com
prendidas entre dos o más estaciones terminales. La transmi
sión de multiplex telefónico y televisión sobre una misma ru
ta, es una de las características de los sistemas de microon
das, siendo esto aconsejable tanto en el costo como en la eco
nomía de frecuencia; sin embargo, algunas diferencias son es
tablecidas entre los requerimientos para la transmisión de
multiplex telefónico y televisión. El tráfico en un sistema
multiplex telefónico varía durante el día, encontrándose to
ras de máxima y mínima ocupación telefónica, manteniendo por
ello la continuidad del sistema independientemente del tráfi
co. En los sistemas de televisión, no es necesario la con
tinuidad del sistema por los cambios y cierres de programación.
Otra obvia diferencia es de que en el uso de un sistema de te
levisión, la transmisión generalmente es en un sentido, co
mo sí la telefonía, que obligatoriamente necesita usar su trans
misión en ambos sentidos. Estos requerimientos generales pa
ra el diseño y algunos más, deben haber sido contemplados co
mo puntos básicos de análisis para el proyecto nacional de mi
croondas.

Como podemos ver en la figura I.1, la red troncal est
costituída por 17 trayectos radioeléctricos, los cuales se
dividieron en cuatro rutas troncales; Ruta Norte, Ruta cen
tral, Ruta Sur y Ruta Oeste.

(a) Ruta Norte:

Comprende las estaciones de San Juan, Cerro Blanco y Troya. En las estaciones de Cerro Blanco y Troya se prevee derivaciones para enlazar, mediante sistemas de baja capacidad (VHF-UHF), a las capitales provinciales de Tulcán e Ibarra, así como una posible conexión internacional con Colombia, mediante las repetidoras Troya (Ecuador) y Cruz de Amarillo (Colombia).

(b) Ruta Central:

Comprende las estaciones de San Juan, Chasqui, Mira, Carshau y Guayaquil. En esta ruta se prevee derivación en la estación Mira, para interconectar a Riobamba y el Oriente.

(c) Ruta Sur:

Comprende la estación terminal de Guayaquil (Torre El Carmen), las repetidoras de Balao Chico, Machala, Reppen, Guachaurco, Huachichambo y Loja. Habrá derivaciones en Machala, para servir a Machala y en Reppen para servir a los pueblos de El Oro, así como también, una posible conexión internacional con Perú.

(d) Ruta Oeste:

Comprende las estaciones de Guayaquil (El Carmen), Cochabamba, San Javier, Gramalotal, Cerro de Hojas, Manta y Portoviejo. La estación de Cerro de Hojas servirá para derivar una banda estrecha a los pueblos de Manabí.

De esta manera quedó estructurado el sistema de interconexión a la red troncal. Una de las consideraciones iniciales para el diseño de esta red, fue la de contemplar dentro del proyecto, las estaciones existentes; esto traía como consecuencia fundamentalmente en el orden económico, grandes ventajas, porque los costos de los planes de inversión disminuían y la ejecución del proyecto era inmediata.

Otra conveniencia fue la de que se facilitaron ciertos estudios de propagación por:

Tener vía de acceso al sitio (carretera)

Energía disponible

Facilidades para pruebas de tramo

Facilidad de utilizar las torres

Las rutas Norte, Oeste y Sur conformadas por estaciones ya instaladas, a excepción de la estación repetidora Balao,

no presentaron problemas en los estudios de propagación, por las siguientes razones:

Primero: Por tener trabajando equipos VHF y UHF de baja capacidad, en trayectos probados.

Segundo: Por haberse comprobado línea de vista, y

Tercero: La longitud de los trayectos era de 60 km. con la excepción de los tramos Guayaquil (El Carmen) Cochabamba de 100.8 km. y Cochabamba-San Javier de 100.3 km. de la Ruta Oeste, los cuales por ser parte de la Ruta Troncal de la Costa (ver figura I.2), eran enlaces confiables.

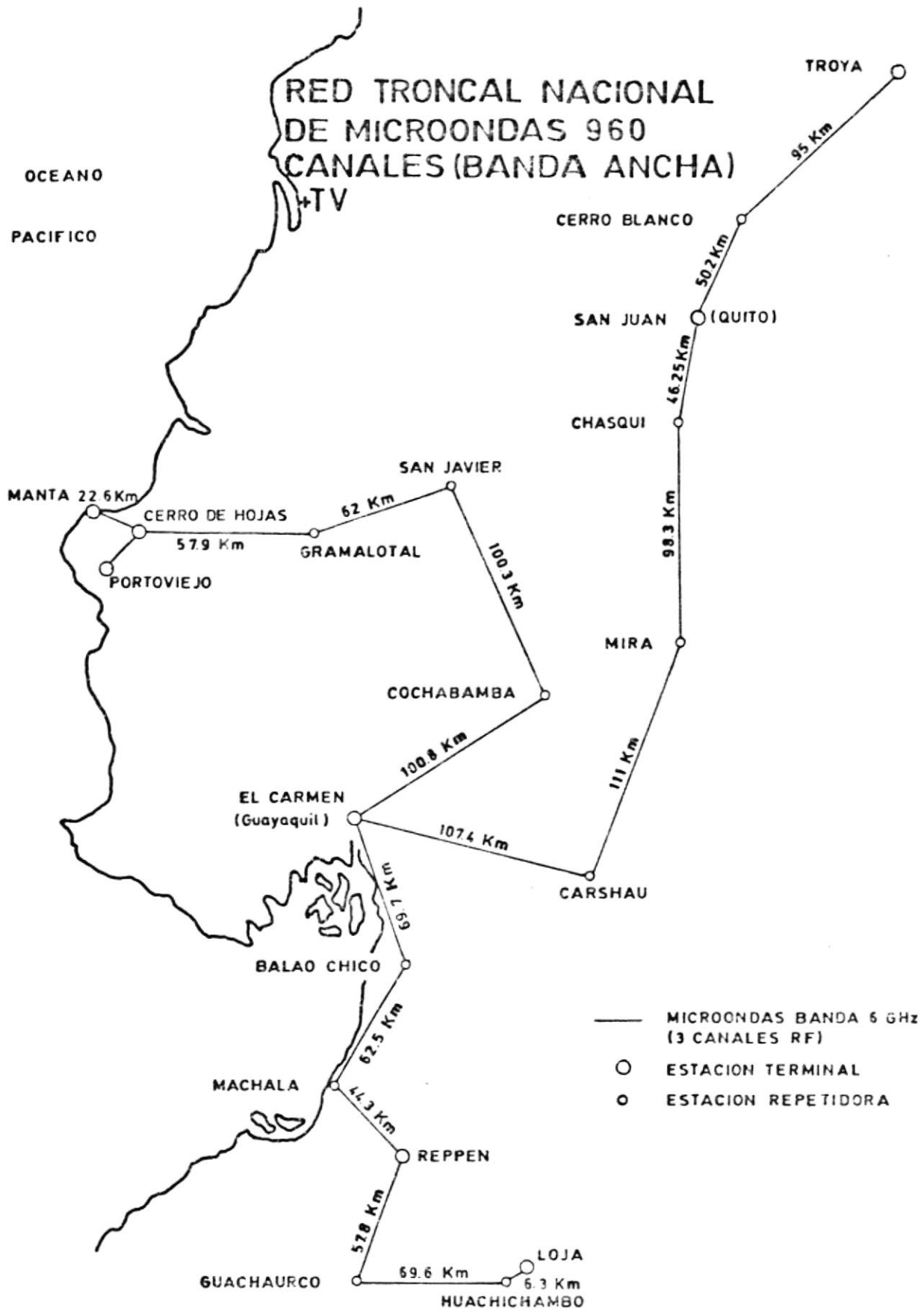


Figura 1.1

RUTA DE LA COSTA SISTEMA DE MICROONDA- CAPACIDAD 600 CANALES

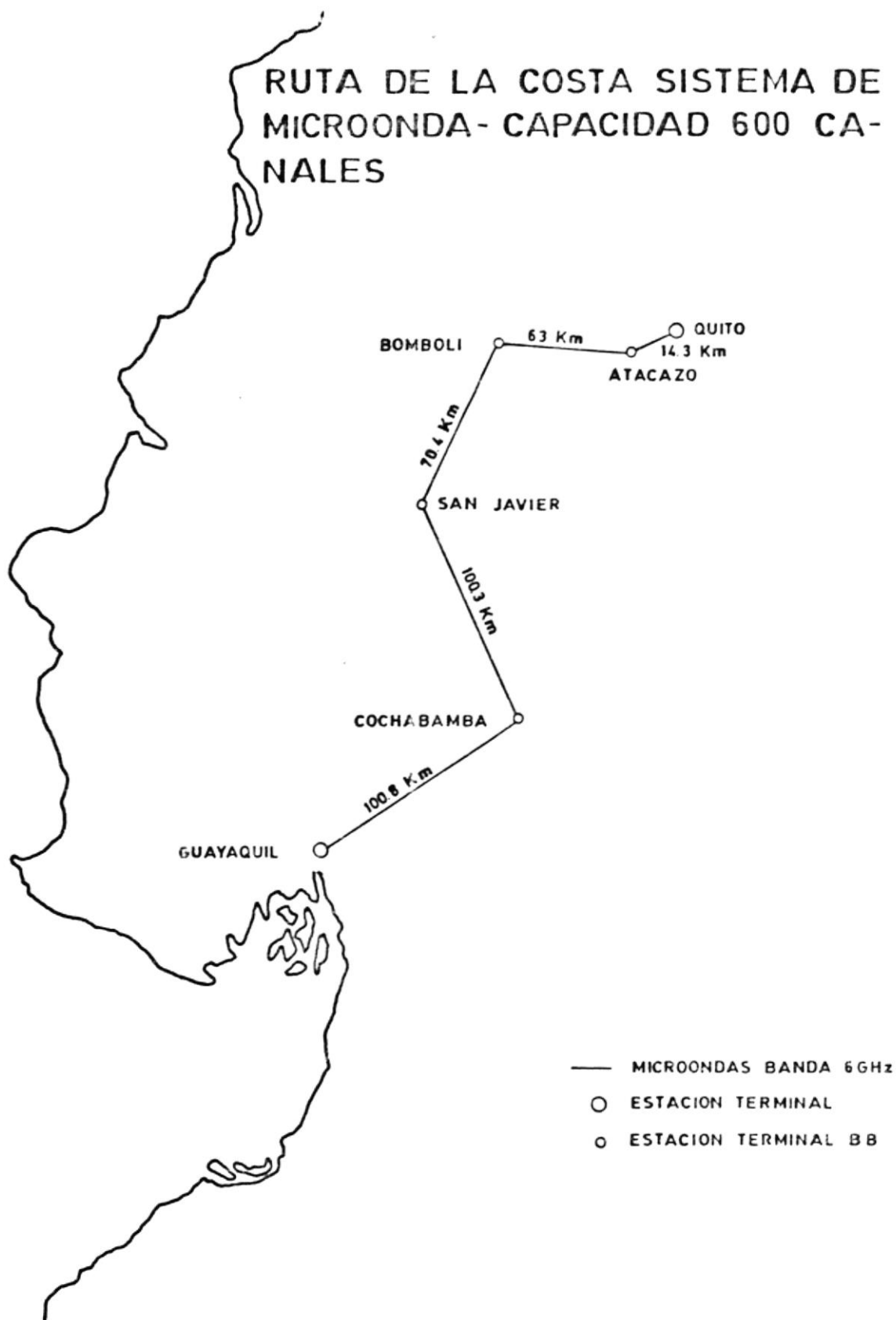


Figura I.2

Capítulo II

COMPOSICION GENERAL DE LA RED TRONCAL

II.- COMPOSICION GENERAL DE LA RED TRONCAL

En este capítulo se describe la red troncal citando ciertos detalles específicos de cada una de las estaciones que la integran considerando para ello la influencia de ciertos factores principales, previamente mencionados, así como también se han ilustrado en diagramas de bloques, las estaciones repetidoras tanto en frecuencia intermedia como en frecuencia de banda base.

La red troncal o ruta central, está conformada por cuatro trayectos:

Trayecto San Juan (Quito) - Chasqui	46.25 km.
Trayecto Chasqui - La Mira	98.30 km.
Trayecto La Mira - Carshau	111.00 km.
Trayecto Carshau - Guayaquil (El Carmen)	107.40 km.

Con una longitud total de 362.95 km. presentó mayores problemas.

La solución o soluciones posibles en el problema de la ubicación geográfica de las estaciones en el curso de un enlace de radio, representa a veces un compromiso entre opuestas exigencias de diversa naturaleza pero de igual importancia.

Por lo tanto se tratará de ilustrar previo al análisis de la ruta central, la influencia de varios factores en la elección del trazado o situación de las estaciones en el enlace de radio.

Los principales puntos de aceptar en lo que respecta a la ubicación o situación son:

- a) **Accesibilidad:** En particular, se debe construir una nueva carretera o solamente emplear aquella existente si la hay, todo esto en relación al tipo de vehículo para el mantenimiento de la estación.
- b) **Energía:** Distancia de la (más cercana) conducción eléctrica, tipo y cantidad de energía disponible, es oportuno tener datos sobre la continuidad de los suministros.
- c) **Area Disponible:** El espacio necesario para levantar la torre de la antena de una estación, no debe ser valorado en algunos centenares de metros cuadrados, por no ser sumamente necesario, es por el contrario importante asegurar la ausencia de obstrucciones en la inmediata vecindad ya que ellas podrían causar reflexiones indeseables de la onda electromagnética. Este es un requisito bastante exi

gente en el caso de la estación terminal situada en la ciudad donde por razones estéticas, no es siempre posible subir la antena para superar las obstrucciones.

- d) Condiciones Meteorológicas: Es oportuno conocer las vicisitudes atmosféricas que se pueden esperar principalmente la temperatura máxima y mínima para poder proveer un sistema eficientemente ventilado o acondicionamiento apropiado al local de los equipos. Es además importante preveer la precipitación lluviosa. Un dato extremadamente útil, es la máxima velocidad de protección contra el viento, o buena construcción de la antena (torre), sea para garantizar buena estabilidad o preveer una excesiva inclinación de la torre. Por ejemplo, un paraboloide de 3 metros de diámetro en una frecuencia de 7000 MHz tiene una tolerancia angular de ± 15 minutos, en cambio que para 2000 MHz, la tolerancia admisible es $\pm 1^\circ$.

Por lo que respecta al trazado del enlace de radio, es necesario poner en consideración los siguientes puntos:

- a) Longitud del Tramo: Como se verá enseguida, el transmisor de radio de una estación, debe alcanzar una potencia electromagnética mínima para que pueda funcionar correctamente. Esta potencia depende principalmente de la distan

cia y de la frecuencia en el sentido que, a las mayores distancias y mayores frecuencias, corresponden atenuaciones de trechos mayores y grandes dificultades de propagación por evanescencia. Además, para compensar el aumento de las atenuaciones, no se puede aprovechar de una fuerte o grande potencia de transmisión, en cuanto a la clase de frecuencia elevada, ya que ello está limitado a los pocos vatios que los tubos o diodos modernos son capaces de dar.

- b) Peligro de Interferencia: En los enlaces de radio con visibilidad electromagnética compuesto de algunos tramos puede manifestarse la posibilidad que una señal de radio de una estación, pueda ser recibida, en vía excepcional y muy atenuada, por otra estación de la cadena situada sobre la prolongación de la distancia de las dos estaciones interesadas.
- c) Libertad de los Elipsoides de Fresnel: Es importante el estudio del Elipsoide de Fresnel cuando hay presencia de obstáculos; para cada conexión del tramo. Para este objeto es necesario en casos difíciles, inspeccionar el recorrido cuidadosamente, y probar directamente a la mitad del tramo o indirectamente con medios ópticos, la condición de visibilidad entre las estaciones interesadas.

Considerando estos factores que permiten dar soluciones reales, se tratará de ser lo más claro y específico en el análisis de esta ruta central o red troncal de microondas, la cual ha causado muchas controversias en su inicial planificación y resultados económicos negativos.

A continuación, tenemos breves detalles característicos de cada una de las estaciones que forman la red.

SAN JUAN.- Estación desarrollada en la zona urbana de Quito, a 2930 m. de altura, cuyas coordenadas geográficas son:

00 ^o	12'	28"	LATITUD SUR
78 ^o	30'	42"	LONGITUD OESTE

CHASQUI.- Estación repetidora desarrollada a 3500 m. de altura sobre el nivel del mar, en la provincia del Pichincha, en el sitio cuyas coordenadas geográficas son:

00 ^o	37'	03"	LATITUD SUR
78 ^o	35'	34"	LONGITUD OESTE

Tanto por su ubicación como por la orografía del terreno la estación no tiene posibilidad de interconectar a la red, áreas de servicio. Al no tener la conexión, la estación repe

tidora debe ser considerada como de frecuencia intermedia (IF), ver figura II.1, o sea, la amplificación se efectúa en la etapa intermedia sin pasar por el proceso de demodulación y remodulación que necesitan los repetidores de Banda Base (BB).

LA MIRA .- Estación repetidora no desarrollada a 3858 m. de altura, ubicada en las estribaciones del Chimborazo, cuyas coordenadas geográficas son:

01°	30'	20"	LATITUD SUR
78°	35'	00"	LONGITUD OESTE

Presenta una posición geográfica envidiable, es quizás en forma aproximada el centro del país; se encuentra en el callejón interandino y por ello tiene la posibilidad de interconnectar el oriente y la costa, así como también determinadas áreas de servicio, por esto a diferencia de la estación Chasqui, debe ser considerada como una estación repetidora con de rivación, ver figura II.2.

Otra ventaja de esta estación, es que presenta fácil vía de acceso⁽¹⁾, por pasar aproximadamente a 1 kilómetro una carretera principal.

CARSHAU.- Estación repetidora no desarrollada a 4008 m. de altura, ubicada en la provincia del Cañar, en una región inhóspita, de frecuentes descargas eléctricas, así como de velocidades de viento elevadas, presenta una gran desventaja; para llegar a la estación debe desarrollarse una carretera de acceso de aproximadamente 18 km. Esta, por el lugar en que se encuentra situada, no tiene posibilidades óptimas técnicamente para interconectar áreas de servicio, debiendo en el mejor de los casos, ser considerada como una estación de frecuencia intermedia (FI), tiene como coordenadas geográficas:

02°	26'	30"	LATITUD SUR
78°	57'	00"	LONGITUD OESTE

GUAYAQUIL (EL CARMEN).- Estación terminal actualmente desarrollada en el cerro de El Carmen, ubicada en la zona urbana de Guayaquil a 90 m. de altura sobre el nivel del mar. Esta es y será la estación donde convergerán todos los enlaces tanto provinciales como internacionales para el servicio telefónico y de T.V. a larga distancia, sus coordenadas geográficas son:

02°	10'	37"	LATITUD SUR
79°	52'	40"	LONGITUD OESTE

La figura II.3, ilustra la ubicación de todas las estaciones de la red troncal referidas mostrando azimuts y distancias de los trayectos.

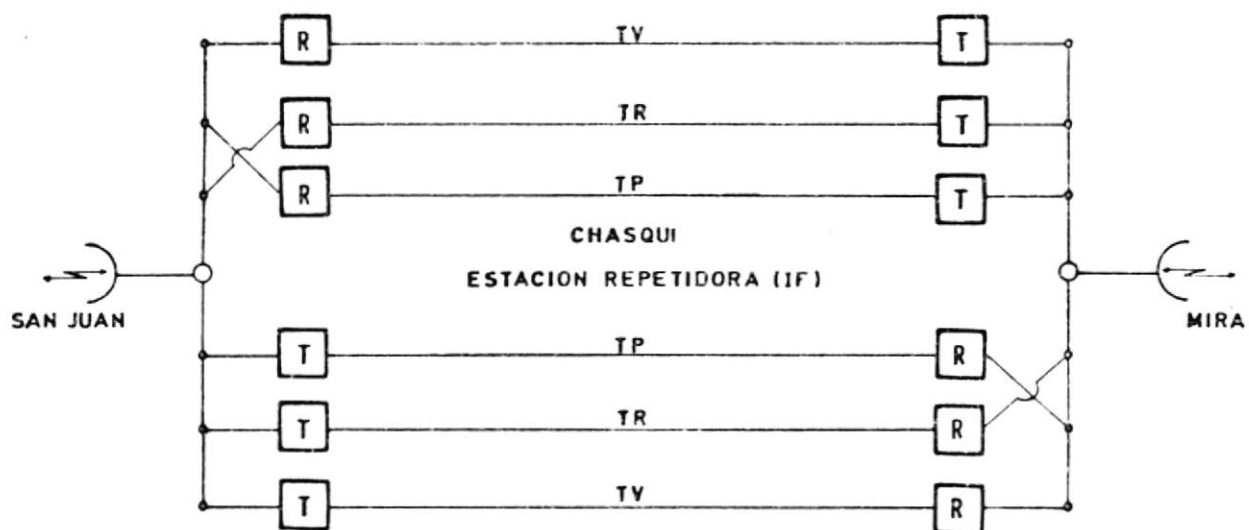


Figura II. 1

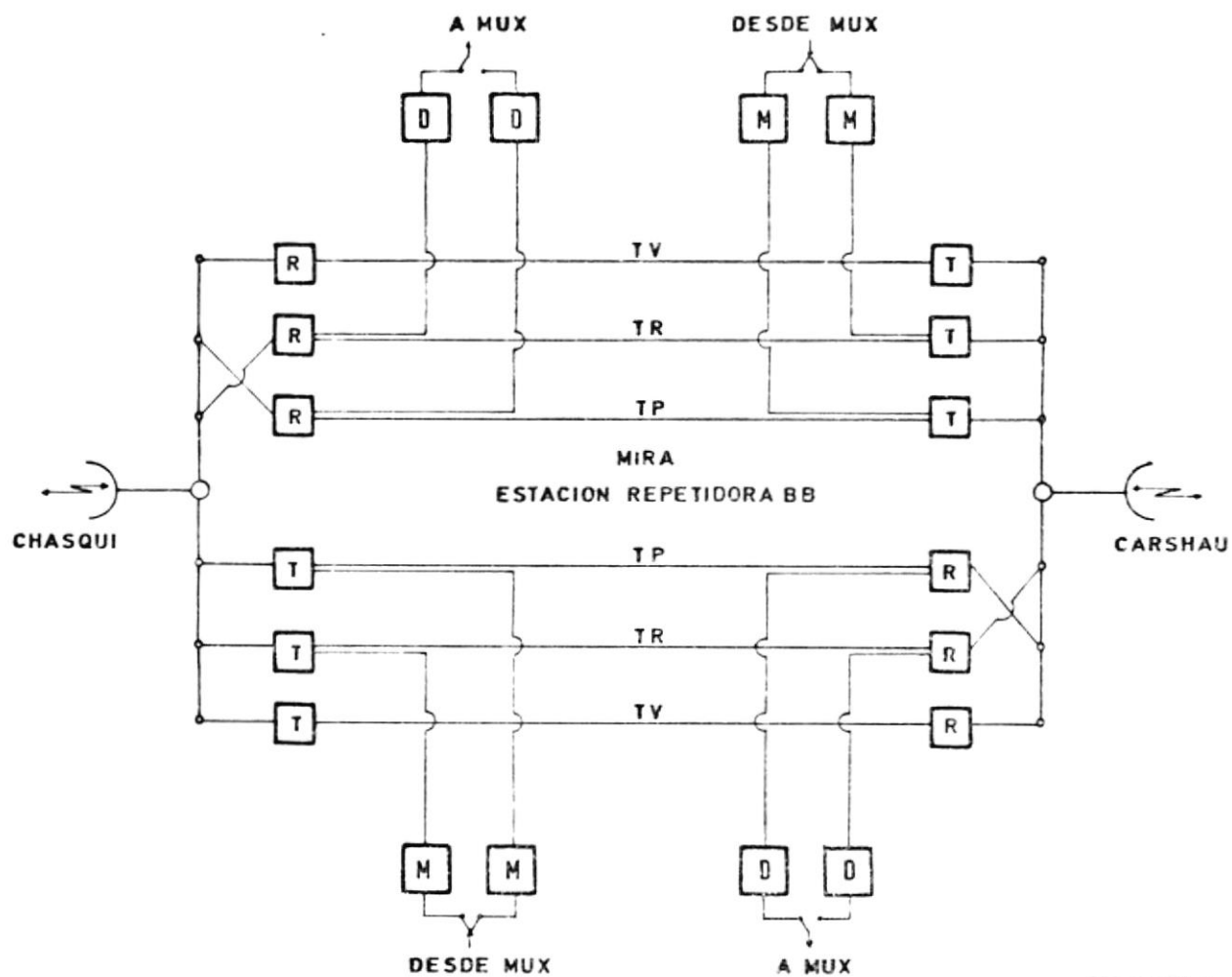
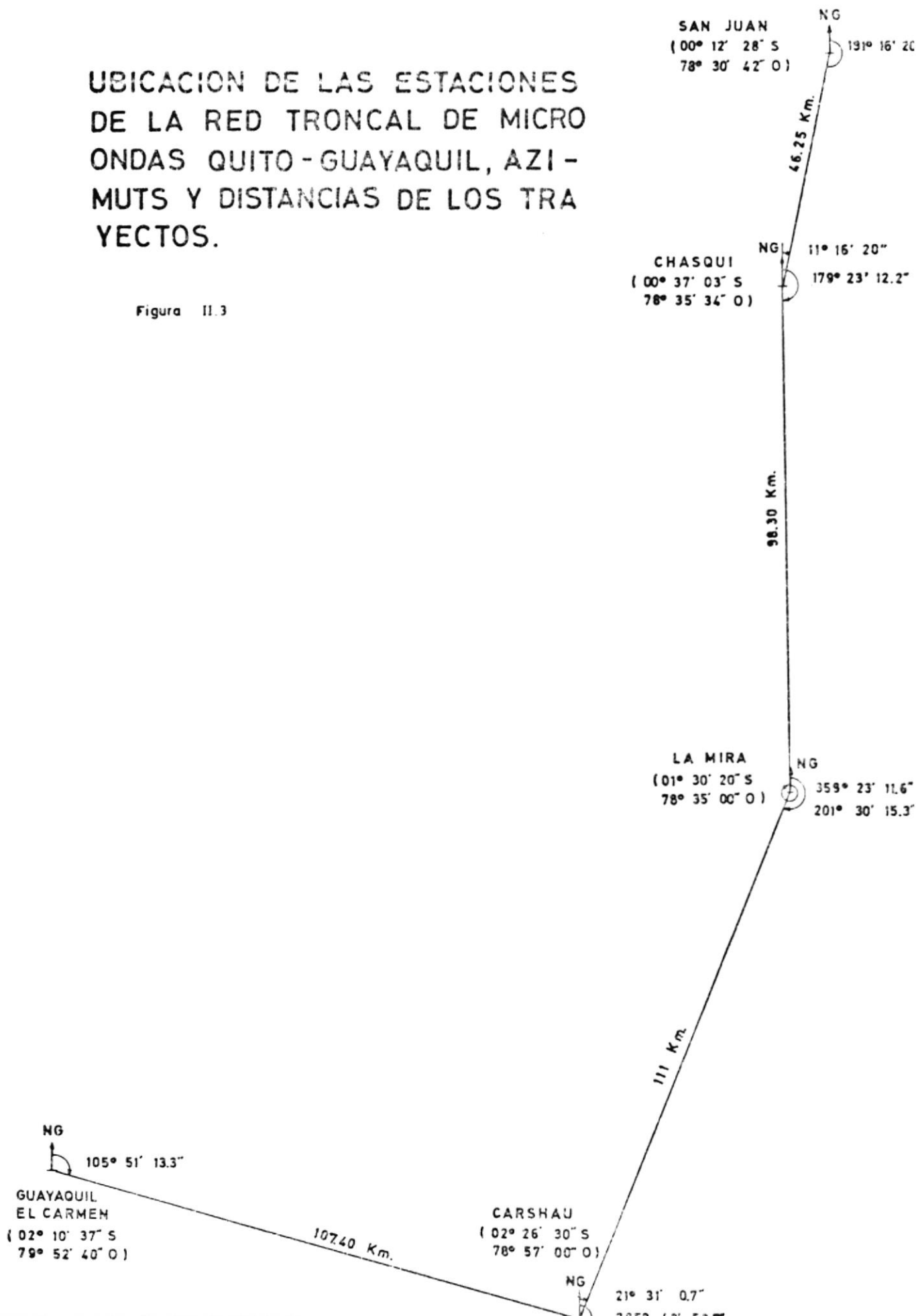


Figura II. 2

UBICACION DE LAS ESTACIONES DE LA RED TRONCAL DE MICROONDAS QUITO-GUAYAQUIL, AZIMUTS Y DISTANCIAS DE LOS TRAYECTOS.

Figura II.3



Capítulo III

ANALISIS DE LOS TRAYECTOS

III.- ANALISIS DE LOS TRAYECTOS

El objetivo principal del análisis de cada uno de los trayectos, es determinar que cada uno de los tramos cumplan las especificaciones técnicas necesarias y los requerimientos económicos sean mínimos, así como también, estudiar la banda de frecuencias, una de las características fundamentales de todo sistema de transmisión.

Por haber recomendado el IETEL a los oferentes dentro de la licitación para la provisión del sistema nacional de microondas que: "La banda de frecuencia ofrecida, debe ser preferentemente de 6 a 7 GHz, y debe cumplir con todas las recomendaciones del CCIR, y que se usará asignación de frecuencias de acuerdo con las recomendaciones también del CCIR", se estudiará esta banda de frecuencias cuidadosamente para evitar futuras interferencias de radio, entre los sistemas de radio existentes y los sistemas propuestos.

La Dirección Nacional de Frecuencia, es el organismo en nuestro país encargado de la asignación y aprobación de bandas de frecuencias de servicios, tanto públicos como privados pudiendo ser ellos nacionales o internacionales; basándose en recomendaciones de organismos internacionales de los cuales es miembro.

Las posibilidades de interconexión de sistemas de radio enlace de diferentes países a través de sus fronteras, están gobernados por acuerdos preliminares entre sus administraciones sobre la banda y frecuencias disponibles. La Unión Internacional de Telecomunicaciones, ha regulado la utilización del espectro de radio frecuencia, por asignación de rangos específicos, para servicios de radio determinados. El CCIR ha recomendado el uso de ciertas bandas dentro de aquellos rangos para circuitos internacionales, especificando la disposición de canal para cada una de las bandas. Esta canalización es también usada extensamente en circuitos nacionales. Para sistemas de comunicaciones que operan dentro del rango de frecuencias de 1.7 a 12.7 GHz llamada NORMAS DE ASIGNACION DE FRECUENCIAS, el CCIR, ha establecido una serie de recomendaciones con el fin de que los organismos nacionales inscritos a la UIT hagan una utilización óptima del espectro de radio frecuencias. En la tabla III.1 se detallan características de las recomendaciones del CCIR.

Considerando que el IETEL actualmente tiene en funcionamiento equipos en el rango de las microondas, los cuales no saturan el espectro de frecuencias en la banda de los 6 GHz y que la capacidad de canales telefónicos de la red troncal será de 960 más un canal de televisión, las asignaciones de radio frecuencias, estarán basadas en la recomendación 384-1

Esta recomendación, establece una asignación de frecuencias para la transmisión de 960 canales en la banda de 6000 MHz con una frecuencia central de $f_0 = 6770$ MHz. Las frecuencias de cada canal de radio se determinan de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$f_N = f_0 - 350 + 20 N \quad (\text{III.1})$$

$$f'_N = f_0 - 10 + 20 N \quad (\text{III.2})$$

donde:

f_N , es la frecuencia central de un canal radioeléctrico de la mitad inferior de la banda en MHz.

f'_N es la frecuencia central de un canal radioeléctrico de la mitad superior de la banda en MHz.

N , número del canal de radio.

Desarrollando (III.1) y (III.2), para valores de $f_0 = 6770$ MHz y $N = 1, 2, 3, \dots, 15, 16$, se tendrá la asignación de los canales de radio frecuencia requeridos: ver tabla III.2.

Tomando en cuenta que la red troncal de microondas San

Juan - Guayaquil, sea capaz de llevar 2 canales de RF para el servicio telefónico (DM 960 canales CCITT) y un canal RF para el servicio de televisión (audio y video) así como también se usen antenas comunes para transmisión-recepción, el planeamiento de frecuencia debe determinar valores fijos de frecuencia a fin de reducir la interferencia en caso de que los valores estén concordantes. Por esta razón, y con la ayuda de la recomendación 384-1 del CCIR, se puede efectuar una disposición óptima de frecuencias.

Una de las posibles "canalizaciones" de esta red, (teniendo presente: su capacidad de canales, la diferencia entre canales RF en paralelo y que en una sección de la interconexión, los canales de RF de ida, estén en una de las mitades de la banda y los de retorno en la otra mitad) se puede tener de acuerdo a la tabla III.2, la disposición de frecuencia ilustrada en la figura III.1.

TABLA III.1

RECOMENDACION	MAX. CAPAC. CANALES	RANGO FRECUENCIA MHz	ANCHO BANDA DE GAMA MHz	MIN. SEPARACION OPER. PARALELO MHz	PARES CANALES DE RF PARA PARALELOS	CENTRO FRECUENCIA MHz
279-1	300	2 y 4	400	29	6	1903 o 2101
283-1	60 y 120	2	200	14	6	1808 o 2000
382-1	600 y 1800	2 y 4	400	29	6	1903 o 2101
383-1	1800 600	6	500	29, 65 14, 825	8 16	6175
384-1	2700 960	6	680	40 20	8 16	6770
385	60, 120 y 300 960	7	300	7 y 14 21 y 28	18 y 9 6	7575
386-1	960 300	8	300	23, 3 11, 662	6 12	8350 o 7575
387	960	11	1000	40	12	11200

TABLA III.2

MITAD INFERIOR DE LA BANDA: DA: $f_N = f_o - 350 + 20 N$		MITAD SUPERIOR DE LA BANDA: DA: $f'_N = f_o - 10 + 20 N$	
CANAL	RADIO FRECUENCIA MHz	CANAL	RADIO FRECUENCIA MHz
1a	6440	1b	6780
2a	6460	2b	6800
3a	6480	3b	6820
4a	6500	4b	6840
5a	6520	5b	6860
6a	6540	6b	6880
7a	6560	7b	6900
8a	6580	8b	6920
9a	6600	9b	6940
10a	6620	10b	6960
11a	6640	11b	6980
12a	6660	12b	7000
13a	6680	13b	7020
14a	6700	14b	7040
15a	6720	15b	7060
16a	6740	16b	7080

DISTRIBUCION DE LOS CANALES DE RF EN LA RED TRONCAL-SAN JUAN-GUAYAQUIL

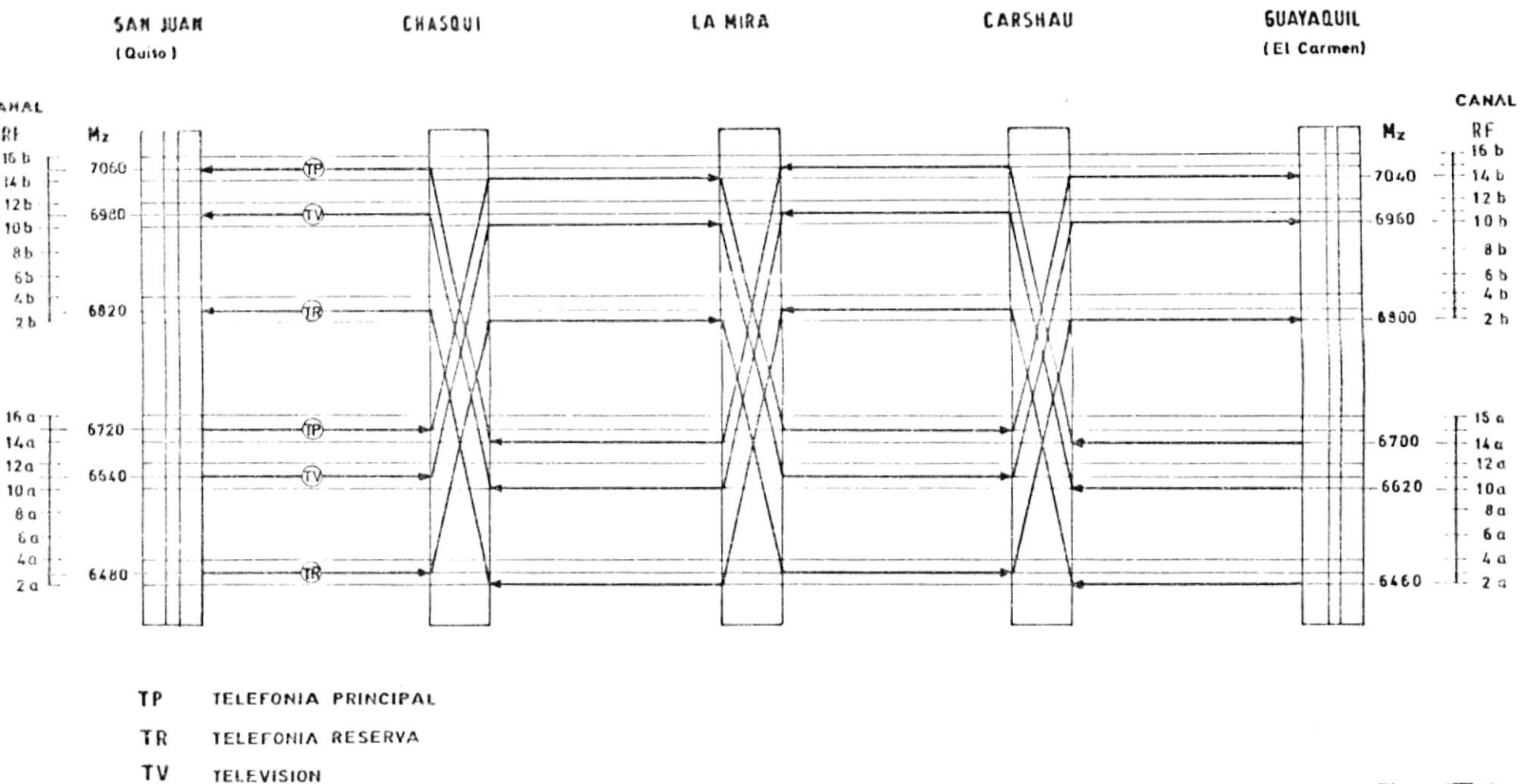


Figura III.1

Capítulo IV.

COMPOSICION GENERAL DEL ANALISIS PARA CADA UNO DE LOS TRAYECOS
TOS

IV.- COMPOSICION GENERAL DEL ANALISIS PARA CADA UNO DE LOS TRAYECTOS

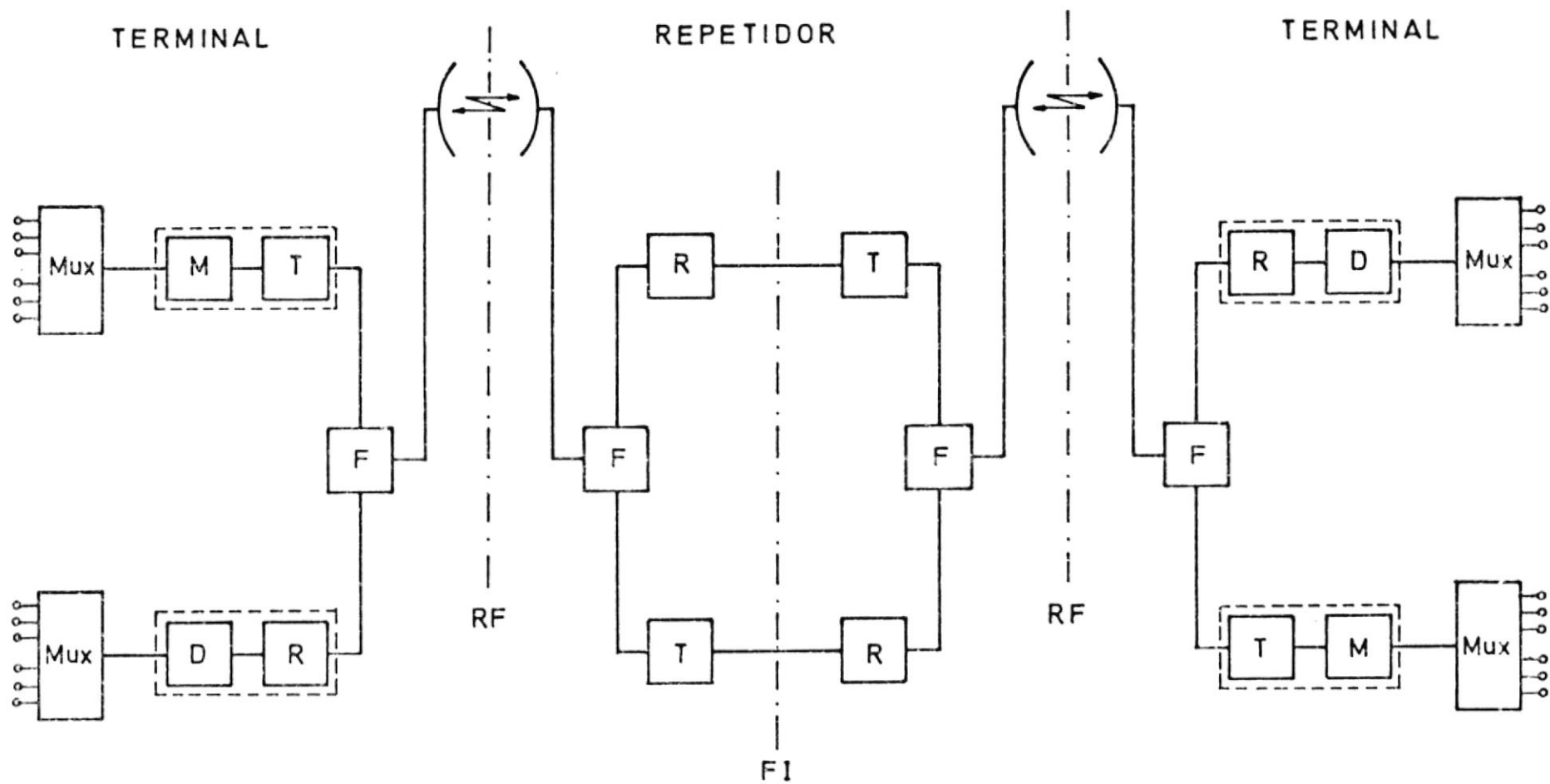
IV.1.- DISTRIBUCION DE LA ATENUACION.- El objeto de un sistema de microondas, es transmitir información de un punto a otro. La información o inteligencia está contenida en la Banda Base (BB) y puede ser de dos tipos:

- a) Una señal FDM - Modulación por división de frecuencia.
- b) Una banda de televisión.

La señal de BB (FDM), consiste en ubicar un conjunto de canales telefónicos, en el espectro de frecuencias, uno a continuación de otro, siendo esta señal multiplex, la tensión de modulación para los equipos radioeléctricos modulados en frecuencia, denominándose este tipo de transmisión FDM - FM.

La señal de BB de televisión, normalmente está acompañada por una señal de audio o varios canales de audio (hasta 4) y de aproximadamente 50 Hz a 15000 Hz, que modula la portadora auxiliar, la cual se encuentra fuera de la banda base.

En la figura IV.1 se presenta en diagrama de bloques la configuración básica de un sistema de telecomunicación. La

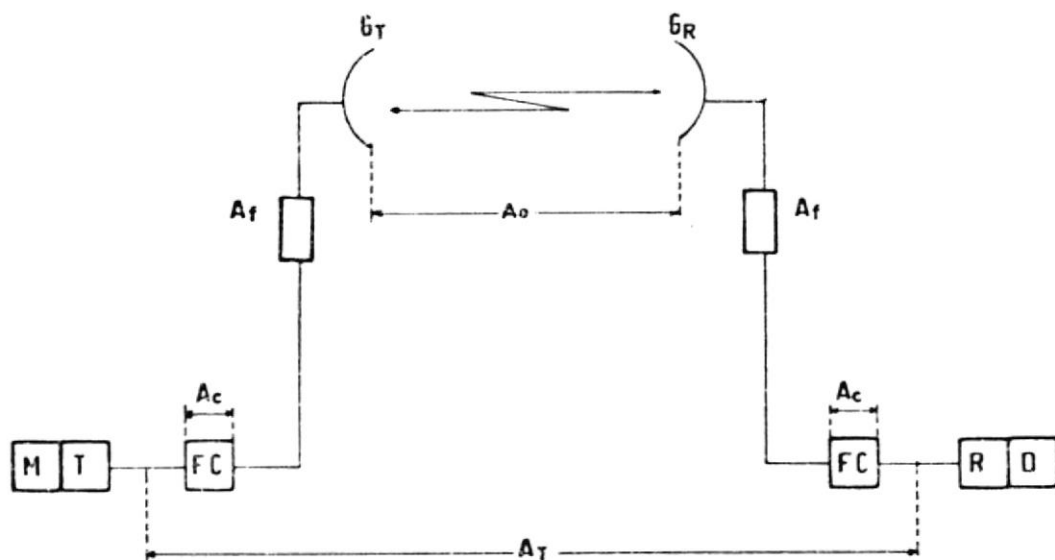


- Mux = EQUIPO MULTIPLEX
- M = MODULADOR
- D = DEMODULADOR
- T = TRANSMISOR
- R = RECEPTOR
- FI = FRECUENCIA INTERMEDIA
- RF = RADIO FRECUENCIA
- F = FILTRO

Figura IX.1

señal de salida de banda RF, es transmitida desde una de las estaciones terminales a través de varias repetidoras hasta la otra terminal, donde esta señal es recuperada aproximadamente en su forma original. Cuando se utiliza la misma antena, tanto para transmisión como para recepción, se requieren circuladores y filtros de acoplamiento. En una estación repetidora, además de considerar su función principal (amplificar la señal para compensar las pérdidas del trayecto) debemos considerar a qué nivel dentro del rango de frecuencia debemos hacer la conexión de transmisión y recepción. Una repetidora en BB es usada cuando es necesario derivar parte de la señal en algunas estaciones repetidoras y/o cuando la capacidad de canales telefónicos es muy grande. En caso de distancias muy largas, el uso de este tipo de conexión es inconveniente, debido a que se introducen en el sistema, variaciones de nivel en BB y distorsiones no lineales por la gran cantidad de moduladores demoduladores (MODEM) necesarios para la interconexión, incrementando de esta manera el ruido del sistema, y por ello bajando su calidad. Por esta razón, la mayoría de los sistemas de radio enlaces para distancias muy largas y con gran número de canales, consideran repetidoras con conexión FI.

La figura 1-11, indica la distribución de la atenuación entre los terminales de salida del transmisor y los termina-



M	MODULADOR
D	DEMODULADOR
T	TRANSMISOR
R	RECEPTOR
FC	FILTRO Y CIRCULADORES
A_c	ATENUACION DE FILTROS Y CIRCULADORES DE ANTENA
A_f	PERDIDAS EN GUIA-ONDA O ALIMENTADORES DE ANTENA
G_T	GANANCIA DE ANTENA DE TRANSMISION
G_R	GANANCIA DE ANTENA DE RECEPCION
A_0	ATENUACION DEL TRAYECTO (CONSIDERA LA ATENUACION DEL ESPACIO LIBRE, MAS LA DE EVENTUALES OBSTRUCCIONES)
A_T	ATENUACION TOTAL DEL RECORRIDO DEL RF

Figura IV. 2

les de entrada del receptor. La pérdida de transmisión o atenuación total de transmisión A_T , se la obtiene sumando los distintos componentes de las pérdidas del sistema y está expresada por la siguiente relación:

$$A_T = A_O - (G_T + G_R) + A_f + A_c + A_d \quad (\text{IV.1})$$

en donde:

A_d = Margen para desvanecimientos.

Atenuación del Trayecto.- Si consideramos dos antenas isotrópicas, separadas en una distancia D , una transmitiendo cierta potencia P_T en el espacio libre o vacío sin considerar desvanecimientos por condiciones atmosféricas o efectos de irregularidades del terreno y otra antena isotrópica receptora que capta una potencia P_R , la relación P_T/P_R , se la define como "Atenuación de Transmisión en el espacio libre A_O ".

De aquí que, para una frecuencia y una distancia dada, existe una pérdida característica A_O , la cual está expresada en la siguiente fórmula:

$$\frac{P_T}{P_R} = \frac{(4 \pi D)^2}{G_T G_R \lambda^2} \quad (\text{IV.2})$$

Expresado en decibeles:

$$A_o = A_o \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_T}{P_R}$$

Utilizando la expresión (IV.2), y asumiendo ganancia unitaria entre dos antenas isotrópicas ($G_T = G_R = 1$) tenemos:

$$A_o \text{ (dB)} = 92.4 + 20 \log D + 20 \log f \quad \text{(IV.3)}$$

donde D viene dada en km. y f en GHz.

Generalmente, para la operación de sistemas de microondas, se necesitan antenas parabólicas de muy alta ganancia; el uso de este tipo de antenas es muy común en la implementación de los sistemas, los cuales comparados con las Antenas Corneta-Reflector, también usadas en microondas, dan las ventajas siguientes:

- Bajo costo,
- Alta ganancia alcanzada en la práctica,
- Gran facilidad de instalación,
- Puede ser usada conjuntamente con un reflector antena;

y las siguientes desventajas:

- Banda de frecuencia estrecha ($\pm 10\%$ de la frecuencia central),
- Alto nivel de los lóbulos laterales,
- Peor relación de onda estacionaria ROE (VSWR).

Como no existen requerimientos en la red troncal de microondas de usar dos planes de frecuencias distintos para que una antena Corneta-Reflector, dé la facilidad de transportar algunos canales de RF, se ha adoptado el uso de las antenas parabólicas.

Ganancia.- La ganancia de una antena con respecto a un radiador isotrópico es:

$$G = 10 \log N \frac{4 \pi A}{\lambda^2}$$

donde:

$$A = \text{Area de la apertura de la antena} \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

λ = Longitud de onda

D = Diámetro de antena

N = Factor de ganancia = $\frac{\text{Area efectiva}}{\text{Area real}}$

N = 0.5 para antenas parabólicas

N = 0.6 para antenas Corneta-Reflector

N = 1.0 para repetidores pasivos

A continuación, en la tabla IV.1, se especifican valores calculados de ganancia para antenas parabólicas como una función del diámetro de la apertura de la frecuencia de operación y para una eficiencia de $N = 0.5$.

TABLA IV.1

FRECUENCIA MHz	DIAMETRO (m)	GANANCIA (dB)	(cm)
6770	1.2	35.5	4.43
	2.4	46.6	
	3.3	44.3	
	4.0	46.5	
	5.0	48.0	

Pérdidas en guía de Onda. - La guía de onda o alimentador, es un medio de transmisión para acoplar la antena y el equipo de microondas, en donde la energía de RF que se propaga en la guía a través de sus modos TE y TM, sufre atenuación específica debido a corrientes inducidas en las paredes de la guía. Actualmente existen varios tipos de estos conductores metálicos huecos como ser, circulares, elípticas, rectangulares,

etc. Para este análisis se ha seleccionado la guía de onda de sección rectangular TIPO ER - 6H por su baja atenuación, fácil acoplamiento con guía de onda standard y su ancho de banda de frecuencia. Según curvas de ATENUACION-FRECUENCIA, ver figura IV.3, para TIPO de guía de onda ER-6H (ver tabla IV.2) las pérdidas son de 0.047 dB/m a 6770 MHz. las dimensiones de este tipo de guía de onda rectangular es de $a = 47.5$ mm. y $b = 31$ mm. La frecuencia de corte para el modo dominante TE_{10} es $f_c = 3158$ MHz.

ATENUACION

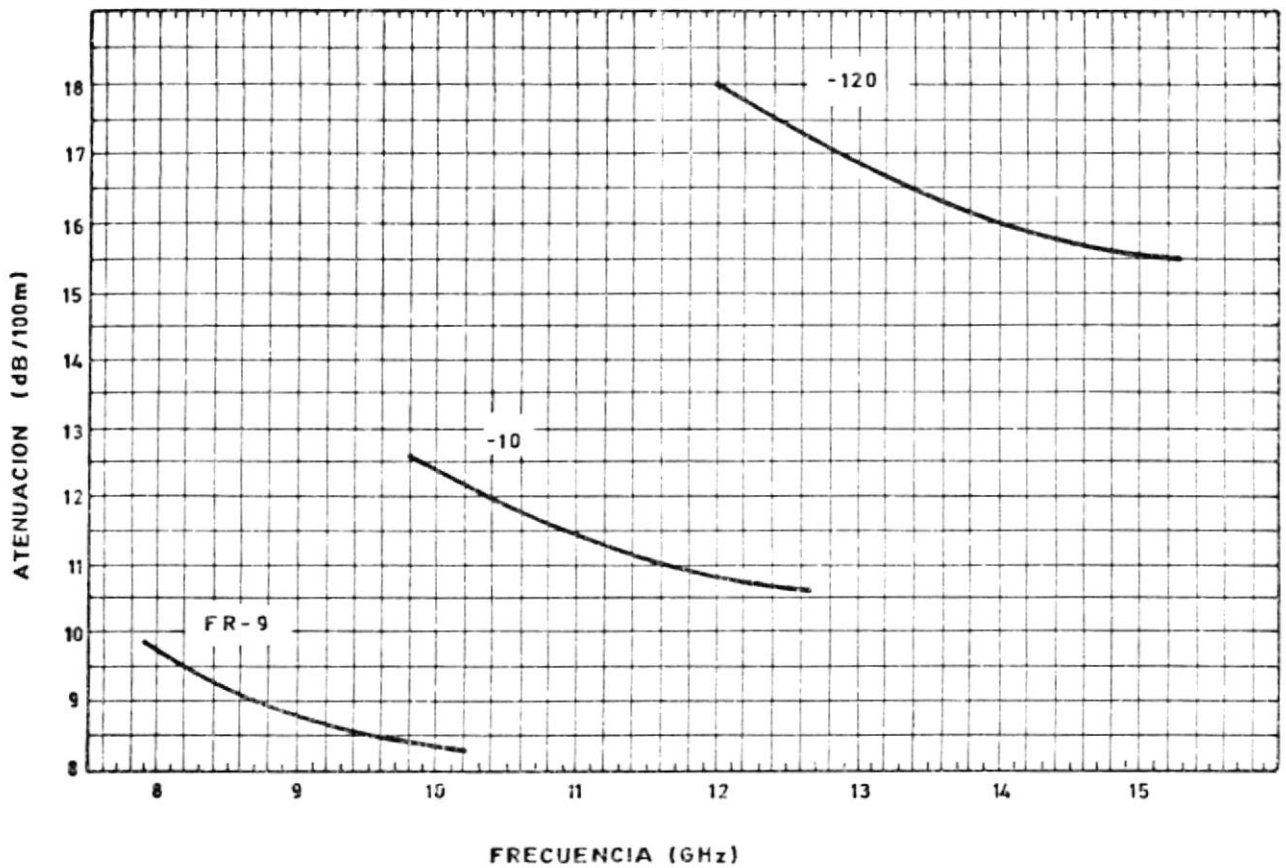
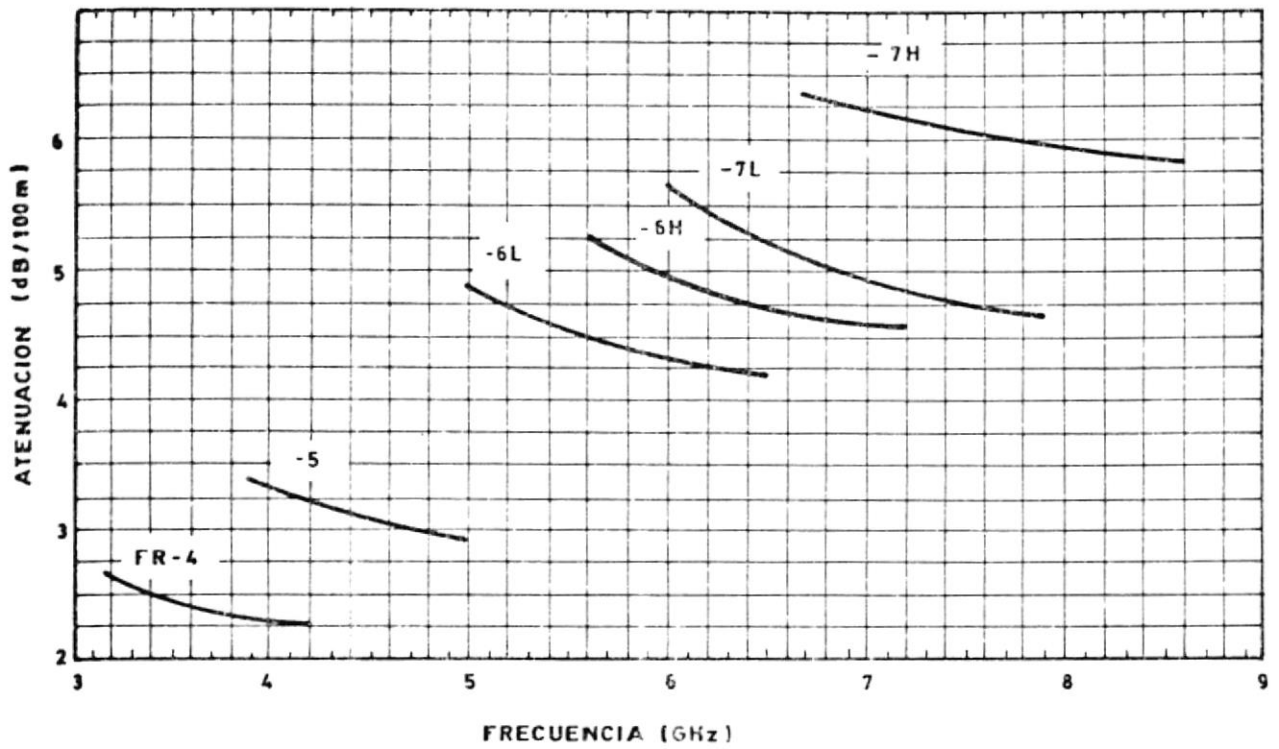


Figura IV.3

TABLA IV.2

BANDA DE FRECUENCIA GHz	TIPO GUIA RECTANGULAR	TERMINAL		ROE
		CONECTOR	ADAPTADOR	
3.4-3.8	FR-4	FRC-4	FRA-4A	1.08
4.4-5.0	FR-5	FRC-5	FRA-5	1.08
5.0-6.0	FR-6L	FRC-6L	FRA-6A	1.08
6.4-7.2	FR-6H	FRC-6H	FRA-7A	1.07
7.1-7.8	FR-7L	FRC-7L	FRA-7B	1.07
7.7-8.2	FR-7H	FRC-7H	FRA-7C	1.06
8.5-10.0	FR-9	FRC-9	FRA-9	1.08
10.7-11.7	FR-10	FRC-10	FRA-10A	1.08
14.4-15.4	FR-120	FRC-120	FRA-120	1.08

Atenuación de filtros y circuladores.- Para sistemas que utilizan la misma antena con 3 canales de radio, la atenuación en filtros y circuladores es de 3.6 dB ($A_c = 3.6$ dB).

IV.2.- CALCULO DE LA ATENUACION DE ESPACIO LIBRE.- A continuación, con una frecuencia central de $f_0 = 6.77$ GHz (ver capítulo III, tabla III,1) y de acuerdo a la expresión (IV.3), el cálculo A_0 para los diferentes trayectos de la red troncal es:

Trayecto: San Juan (Quito) - Chasqui

Distancia $D = 46.25$ km

$$A_0 = 92.4 + 20 \log 46.25 + 20 \log 6.77 = 142.30 \text{ dB}$$

Trayecto: Chasqui - La Mira

Distancia $D = 98.30$ km

$$A_0 = 92.4 + 20 \log 98.3 + 20 \log 6.77 = 148.86 \text{ dB}$$

Trayecto: La Mira - Carshau

Distancia $D = 111.00$ km

$$A_0 = 92.4 + 20 \log 111 + 20 \log 6.77 = 149.90 \text{ dB}$$

Trayecto: Carshau - Guayaquil

Distancia $D = 107.40$

$$A_0 = 92.4 + 20 \log 107.4 + 20 \log 6.77 = 149.60 \text{ dB}$$

IV.3.- PERFIL DEL TRAYECTO. GENERALIDADES. GRAFICOS.- Para tener una real representación gráfica de cada uno de los perfiles de la red troncal, se debe considerar uno de los factores importantes como es el de la curvatura de la tierra.

Al desplazarse las ondas radioeléctricas de frecuencias correspondientes a microondas con distintas velocidades, y a travesar medios de diferentes constantes dieléctricas, se determina una refracción angular en la tropósfera o atmósfera inferior. En el espacio libre, la velocidad es máxima; pero en la atmósfera, donde la constante dieléctrica es algo más elevada por la presencia de moléculas de gas y de agua, las ondas radioeléctricas se propagan más lentamente. En lo que se podría llamar una atmósfera "normal", la presión, la temperatura y la humedad o contenido de vapor de agua, disminuyen linealmente a medida que aumenta la altura. La constante dieléctrica, como parámetro único que combina el efecto resultante de aquellas propiedades meteorológicas, también disminuye con la altura.

Ahora bien, desde que las ondas radioeléctricas viajan con mayor rapidez por un medio de menor constante dieléctrica la parte superior de un frente de onda avanza más rápido que la parte inferior, que lo hace por una región de aire más denso. Esto provoca una deflección de la onda hacia abajo, don

de el cambio en la densidad del aire es gradual, es decir, en una atmósfera uniforme, esa curvatura o refracción de la onda radioelétrica puede ser esencialmente continua, de manera que el haz se curva suavemente alejándose de la atmósfera menos densa y llevando hacia la parte más densa. Esto hace que el haz tienda en general a seguir la curvatura de la tierra como se ilustra en la figura (IV.4).

Por la tendencia del haz a desviarse hacia abajo en la atmósfera y seguir la superficie de la tierra, el radio de la curvatura de la tierra parece mayor que el verdadero. La relación entre este valor de radio aparente de la tierra y el verdadero valor se denomina "factor del radio efectivo de la tierra" y se designó con el símbolo K donde:

$$R_c \text{ (Radio corregido)} = K \times r_o \quad (\text{IV.4})$$

Bajo condiciones atmosféricas normales en que la gradiente refractiva es uniforme, K vale aproximadamente $4/3$. En la práctica dicho valor de $4/3$ es sólo un valor nominal de K , usado comúnmente para representar las condiciones habituales en un clima templado como el de nuestro país.

El CCIR en su recomendación 369 define la "atmósfera fundamental de referencia" como aquella cuyo índice de refracción N varía con la altura. Este mismo organismo proporciona

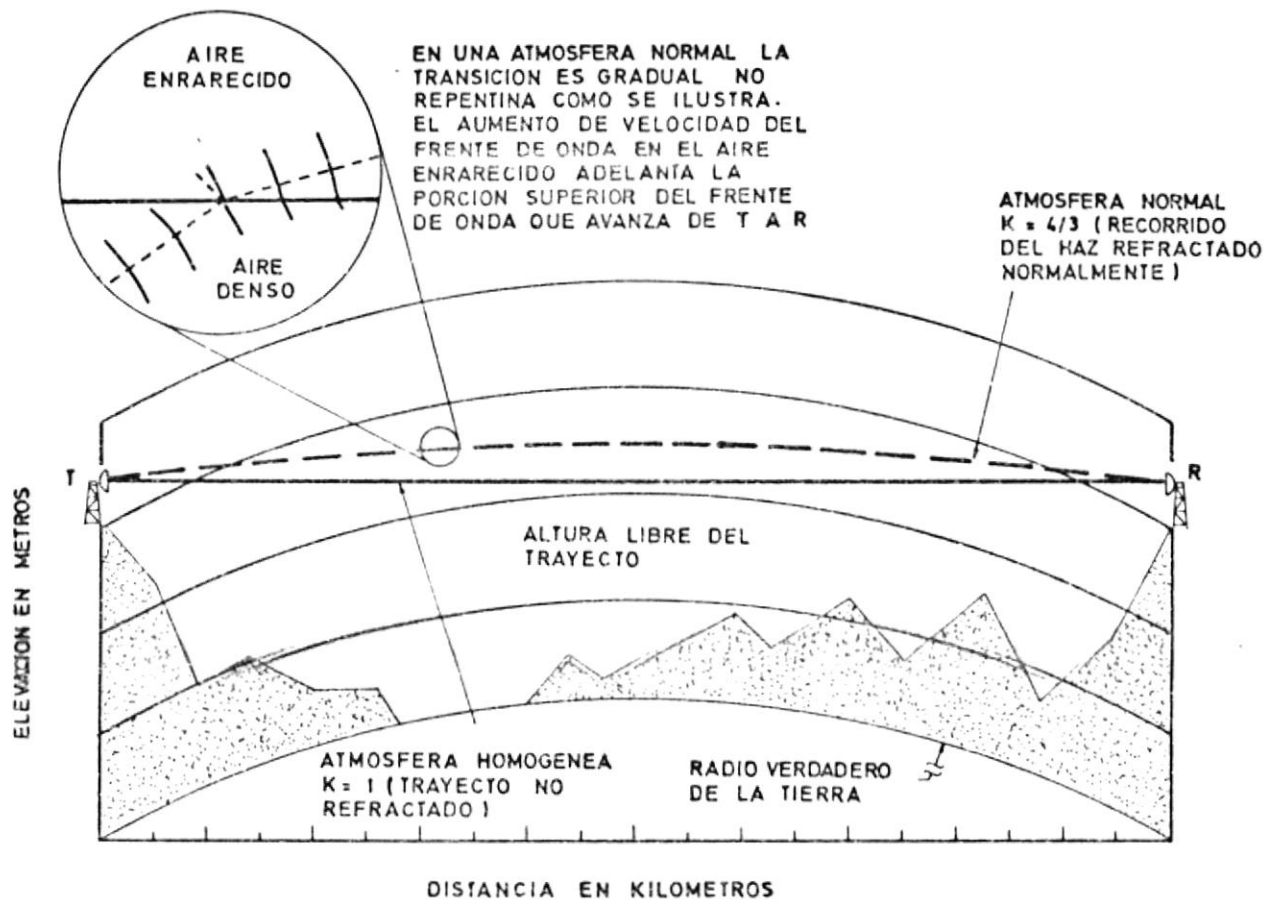


Figura IV.4

información sobre estas condiciones de refracción atmosférica para diferentes lugares del mundo y diferentes meses del año. Datos sobre el parámetro ΔN , incremento del índice N , han sido recopilados en forma de mapas y tabulaciones, siendo ΔN la diferencia entre el índice refractivo 1 kilómetro arriba de la tierra y el valor en el nivel de la tierra. La ecuación:

$$K = \frac{157}{157 + \Delta N} \quad (\text{IV.5})$$

dá la relación entre los valores ΔN y el factor K aproximadamente, es decir que para valores negativos de ΔN , $K > 1$. Si consideramos un valor medio $\Delta N = -40$, de acuerdo a los datos proporcionados por el CCIR, el valor de K es:

$$K = 1.34 \cong 4/3.$$

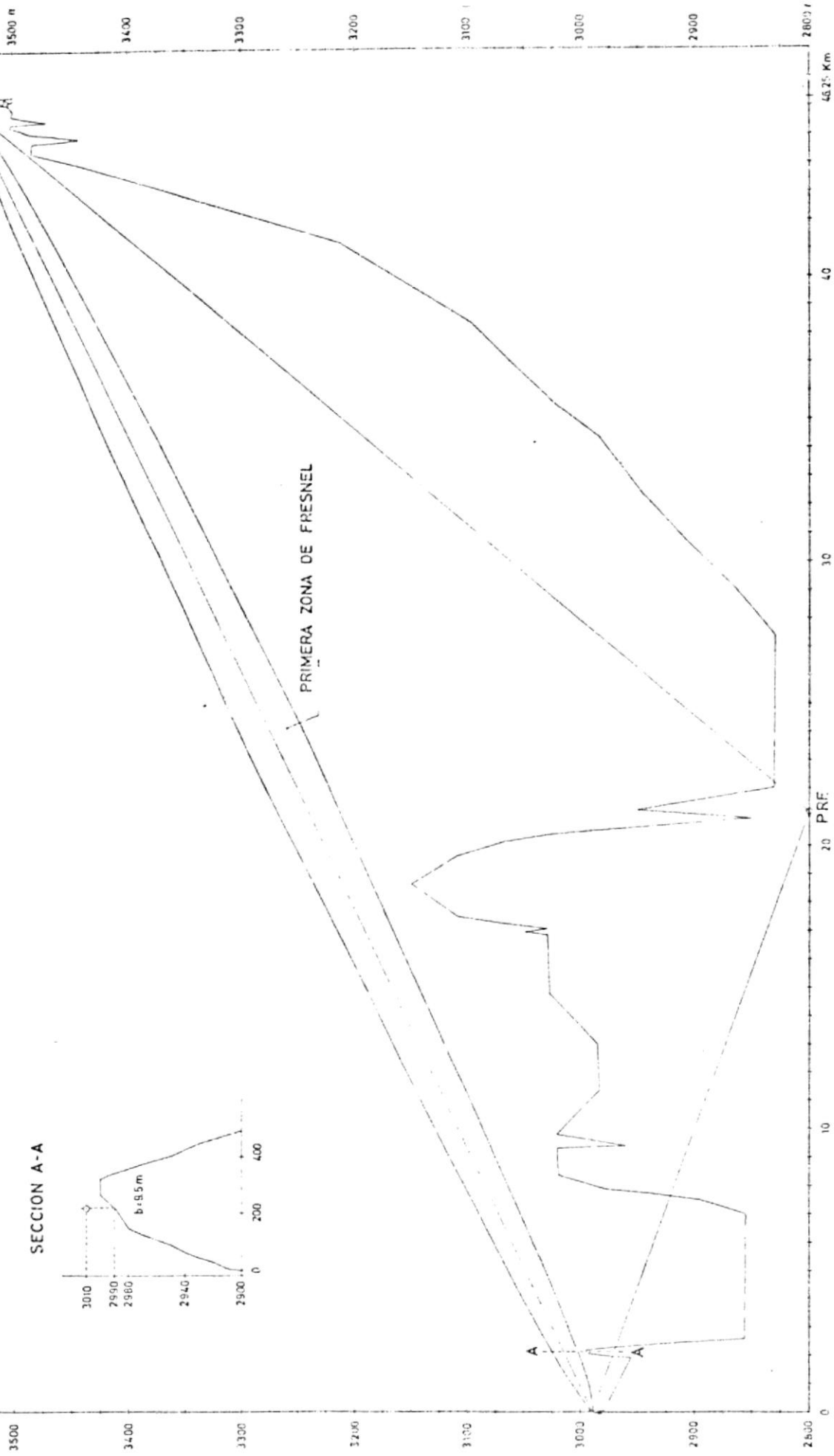
Para la graficación de cada uno de los perfiles de la red troncal de microondas, se utilizará el valor de $K = 4/3$, que se presenta en condiciones atmosféricas normales en que la variación N es uniforme. Cuando en algún perfil $K = 4/3$ de la red troncal, se encuentra alguna elevación próxima a la línea de vista, el análisis de la propagación electromagnética de aquel trayecto será efectuado con un factor de $K = 2/3$ para tener un suficiente margen de seguridad, ya que considerarse un valor ΔN positivo ($\Delta N = 78$ para $K = 2/3$) es univer

salmente reconocido que este régimen de infrarefracción, es extremadamente raro, y si existe es limitado a duraciones de tiempo muy corto.

En los mapas del IGM de escala 1: 50000⁽²⁾, se ubicaron los sitios de las estaciones terminales y repetidoras de la red troncal, en ellos se determinaron las elevaciones convenientes del terreno, comprendida entre dichos sitios, para una graficación precisa del perfil de cada trayecto. Luego utilizando la expresión (I.5), se llegó a confeccionar los perfiles de cada trayecto (ver figuras IV.5, IV.6, IV.7 y IV.8).

PERFIL SAN JUAN - CHASQUI

(Figura IV.5)



ESTACION : SAN JUAN
 LONGITUD : $78^{\circ} 30' 42'' \text{ O}$
 LATITUD : $00^{\circ} 12' 28'' \text{ S}$
 ALTURA : 2960 m.

$d = 45.25 \text{ Km.}$
 $F = 6770 \text{ MHz.}$
 $K = 4/3$
 $H_0 = 31.46 \text{ m.}$

ESTACION : CHASQUI
 LONGITUD : $78^{\circ} 31' 34'' \text{ W}$
 LATITUD : $00^{\circ} 37' 03'' \text{ S}$
 ALTURA : 3500 m.

PERFIL CHASQUI - LA MIRA

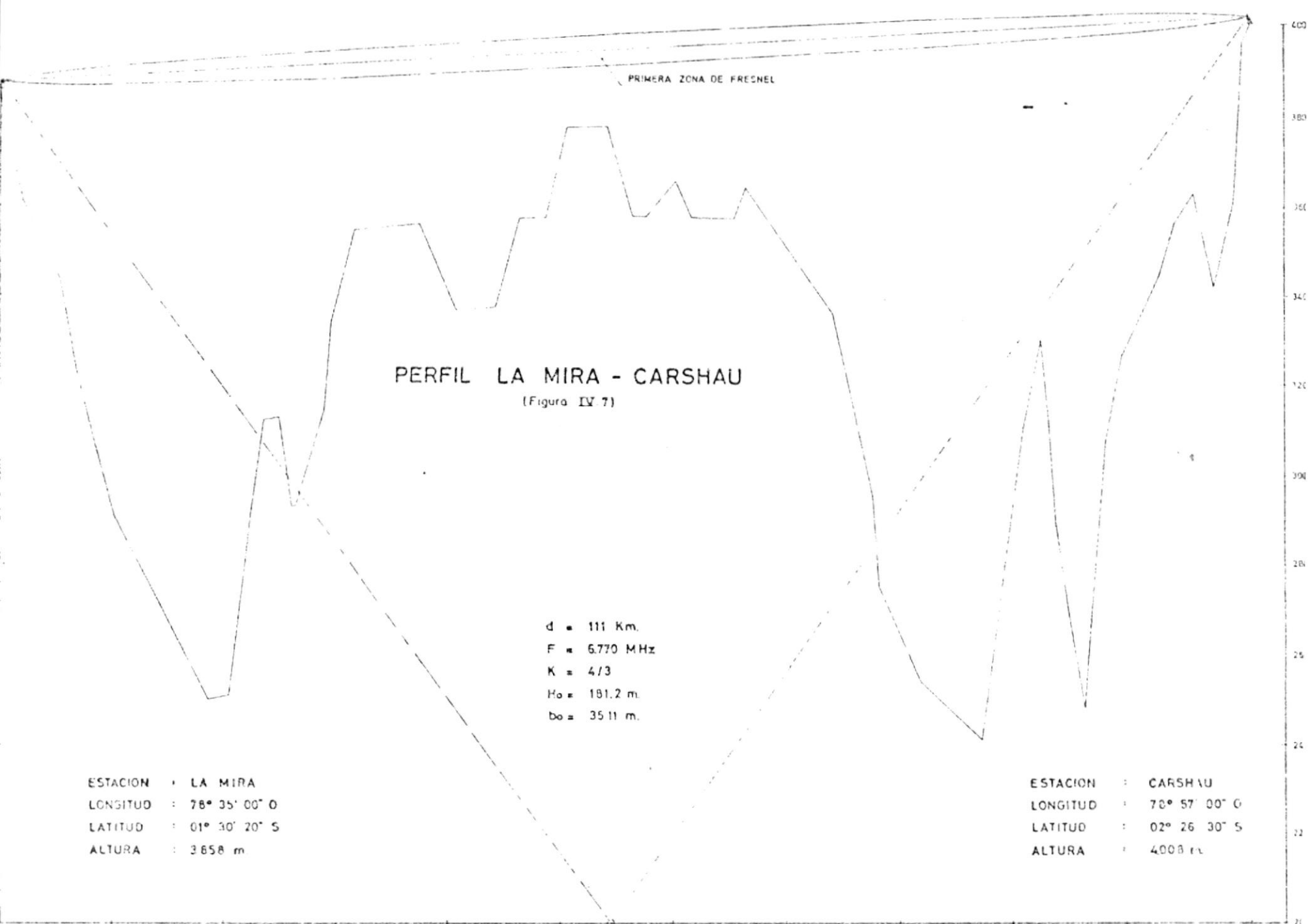
(Figura IV 6)



d = 98.30 Km.
F = 6770 MHz
K = 4/3
H₀ = 14210 m.
D₀ = 33.037 m.

ESTACION : CHASQUI
LONGITUD : 78° 35' 34" O
LATITUD : 00° 37' 03" S
ALTURA : 3500 m.

ESTACION : LA MIRA
LONGITUD : 78° 35' 00" O
LATITUD : 01° 30' 20" S
ALTURA : 3858 m.



PRIMERA ZONA DE FRESNEL

PERFIL LA MIRA - CARSHAU

(Figura IX 7)

d = 111 Km.
F = 6.770 MHz
K = 4/3
H₀ = 181.2 m.
b₀ = 35.11 m.

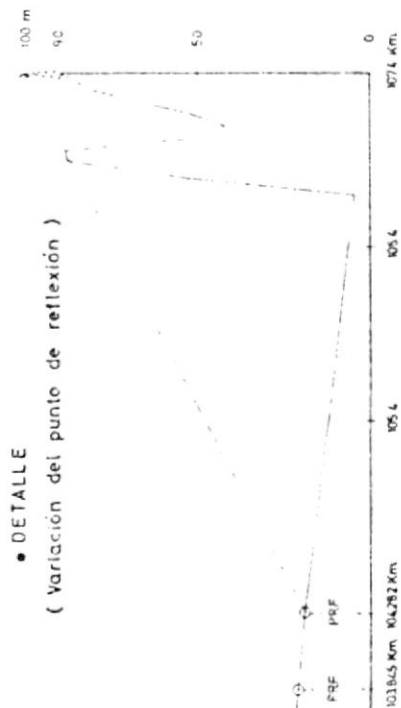
ESTACION : LA MIRA
LONGITUD : 78° 35' 00" O
LATITUD : 01° 30' 20" S
ALTURA : 3.658 m

ESTACION : CARSHAU
LONGITUD : 78° 57' 00" O
LATITUD : 02° 26' 30" S
ALTURA : 4.008 m

400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
20

PERFIL CARSHAU - GUAYAQUIL (EL CARMEN)

(Figura IV 8)



NO EXISTEN MAPAS

d = 107.4 Km.
 F = 6770 MHz
 K = 4/3
 Ho = 169.63 m.
 bo = 34.53 m.

ESTACION : CARSHAU
 LONGITUD : 78° 57' 00" O
 LATITUD : 02° 26' 30" S
 ALTURA : 4.003 m.

ESTACION : GUAYAQUIL
 LONGITUD : 79° 52' 40" O
 LATITUD : 02° 10' 37" S
 ALTURA : 90 m.



IV.4.- CALCULO DE LAS ZONAS DE FRESNEL. CONFIGURACION GRAFICA DE FRESNEL.- Las zonas de Fresnel se definen como los elipsoides de revolución generados por la rotación de una elipse alrededor de su eje mayor, siendo entonces, la sección transversal de cualquiera de estas zonas, un área cilíndrica cuyo centro está ubicado en el rayo directo entre las antenas de transmisión y recepción.

En el apéndice A, se explica la formación de las zonas de Fresnel, así como también se han analizado los efectos de propagación múltiple en el espacio libre. En este apéndice, se deriva la expresión matemática que permite calcular la primera zona de Fresnel; la ecuación es:

$$b_x = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d f}} \quad (IV.6)$$

En las tablas IV.3, IV.4, IV.5 y IV.6, se han calculado los valores del radio de la primera zona de Fresnel en seis puntos de cada uno de los trayectos de la red troncal de microondas. Estos puntos se ilustran en la figura IV.9.

Cuando el análisis del tramo lo requiera por la presencia de alguna obstrucción o superficie reflectora próxima al primer elipsoide de Fresnel, estos 6 valores de los semiejes calculados servirán para graficar la primera zona de Fresnel.

TABLA IV.3

TRAYECTO SAN JUAN - CHASQUI

Valores para la construcción de la Primera Zona de Fresnel

b_x	a	=	Distancia de la mitad del trayecto hacia los lados
$b_0 = 22.66$ m			$a_0 = d/2 = 23.15$ km
$b_1 = 21.89$ m	$a/4$		$a_1 = 0.25a = 5.78$ km
$b_2 = 19.58$ m	$a/2$		$a_2 = 0.5a = 11.56$ km
$b_3 = 14.95$ m	$3a/4$		$a_3 = 0.75a = 17.34$ km
$b_4 = 10.95$ m	$7a/8$		$a_4 = 0.875a = 20.23$ km
$b_5 = 7.87$ m	$15a/16$		$a_5 = 0.9375a = 21.68$ km

TABLA IV.4

TRAYECTO CHASQUI - LA MIRA

Valores para la construcción de la Primera Zona de Fresnel

b_x	a	=	Distancia de la mitad del trayecto hacia los lados
$b_0 = 33.04$ m			$a_0 = d/2 = 19.15$ km
$b_1 = 31.91$ m	$a/4$		$a_1 = 0.25a = 12.29$ km
$b_2 = 28.54$ m	$a/2$		$a_2 = 0.50a = 24.58$ km
$b_3 = 21.80$ m	$3a/4$		$a_3 = 0.75a = 36.86$ km
$b_4 = 15.96$ m	$7a/8$		$a_4 = 0.875a = 43.01$ km
$b_5 = 11.47$ m	$15a/16$		$a_5 = 0.9375a = 46.08$ km

TABLA IV.5

TRAYECTO LA MIRA - CARSHAU

Valores para la construcción de la Primera Zona de Fresnel

b_x	a	= Distancia de la mitad del trayecto hacia los lados
$b_0 = 35.11$ m		$a = d/2 = 55.50$ km
$b_1 = 33.91$ m	$a/4$	$a_1 = 0.25a = 13.88$ km
$b_2 = 30.33$ m	$a/2$	$a_2 = 0.50a = 27.75$ km
$b_3 = 23.17$ m	$3a/4$	$a_3 = 0.75a = 41.63$ km
$b_4 = 16.96$ m	$7a/8$	$a_4 = 0.875a = 48.56$ km
$b_5 = 12.19$ m	$15a/16$	$a_5 = 0.9375a = 52.03$ km

TABLA IV.6

TRAYECTO CARSHAU - GIAYAQUIL

Valores para la construcción de la Primera Zona de Fresnel

b_x	a	= Distancia de la mitad del trayecto hacia los lados
$b_0 = 34.53$ m		$a = d/2 = 53.70$ km
$b_1 = 33.36$ m	$a/4$	$a_1 = 0.25a = 13.43$ km
$b_2 = 29.84$ m	$a/2$	$a_2 = 0.50a = 26.85$ km
$b_3 = 22.79$ m	$3a/4$	$a_3 = 0.75a = 40.28$ km
$b_4 = 16.68$ m	$7a/8$	$a_4 = 0.875a = 46.99$ km
$b_5 = 12.02$ m	$15a/16$	$a_5 = 0.9375a = 50.35$ km

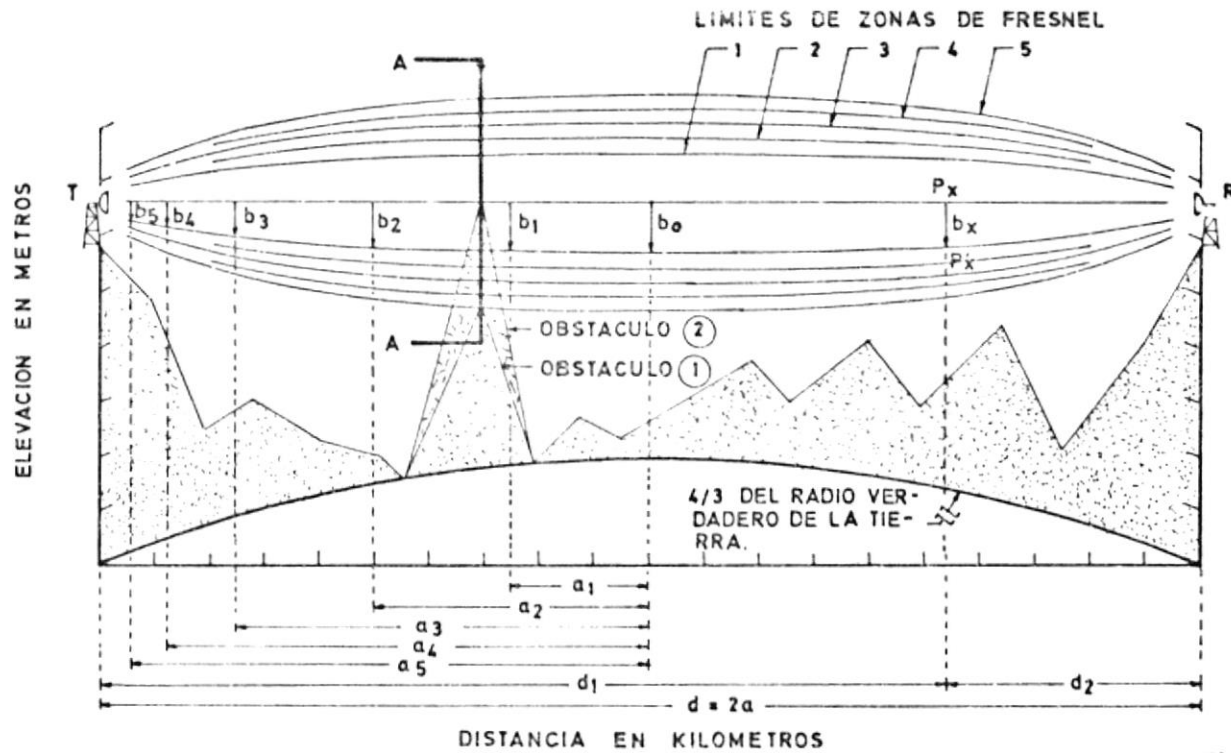
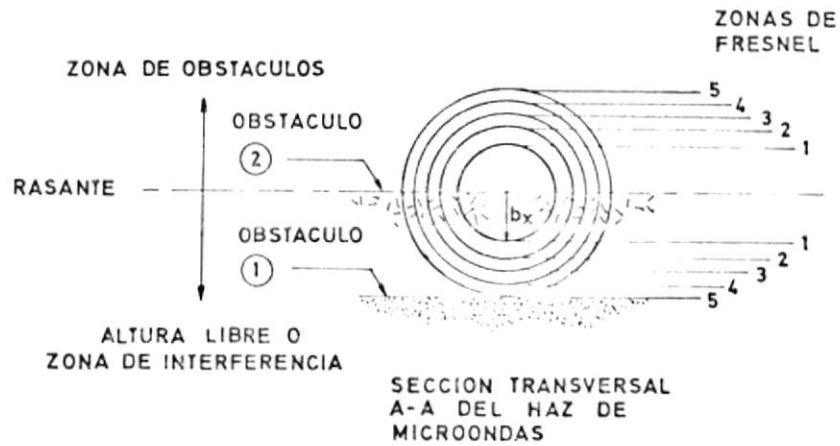


Figura IV 9

IV.5.- CALCULO DE LA CURVATURA DE LA TIERRA.- ($K = 4/3$; $K = 2/3$).- La ecuación que permite calcular la elevación o protuberancia de la tierra en cualquier punto del trayecto, considerando la refracción atmosférica (ver apéndice B); es la siguiente:

para $K = 4/3$ tenemos:

$$h_x = \frac{d_1 d_2}{17} \quad (\text{IV.8})$$

para $K = 2/3$ tenemos:

$$h_x = \frac{d_1 d_2}{8.5} \quad (\text{IV.9})$$

A continuación, utilizando la ecuación IV.8, y de acuerdo a las distancias d_1 y d_2 obtenidas de los mapas del IGM⁽²⁾ se han calculado la elevación de la tierra h_x de estos puntos para los diferentes trayectos de la red troncal. También para facilidad del cálculo, se especifica la ALTURA o cota de los puntos seleccionados para obtener la altura real de la tierra "ALTURA + h_x ". Con estos valores tabulados se han trazado fácilmente los perfiles de cada radio enlace de la red. (ver figuras IV.5, IV.6, IV.7 y IV.8).

Trayecto: San Juan (Quito) - Chasqui

Las alturas o cotas para el trazado de perfil, fueron obtenidas de los mapas del IGM de escala 1: 50000⁽²⁾. Los mapas utilizados en este tramo son CT - Ñ 111 - A4, Quito; CT - Ñ 111 - C2, Amaguaña; CI - Ñ 111 - C4, Machachi.

Las alturas obtenidas para las estaciones fueron:

San Juan (Quito).....2980 m snm
Chasqui.....3500 m snm

La tabla IV.7, muestra las elevaciones para diferentes puntos del trayecto San Juan - Chasqui:

TABLA IV.7

d_1 DISTANCIA (km)	d_2 DISTANCIA (km)	ALTURA (m)	h_x (m)	ALTURA + h_x (m)
0.000	46.250	2980	0.000	2980.00
1.920	44.330	2950	5.006	2955.00
1.965	44.285	2970	5.118	2975.11
2.010	44.240	2980	5.230	2985.23
2.040	44.210	2990	5.305	2995.20

2.145	44.105	2990	5.565	2995.56
2.190	44.060	2980	5.675	2985.67
2.250	44.000	2970	5.823	2975.82
2.310	43.940	2960	5.970	2965.97
2.475	43.775	2900	6.373	2906.37
2.580	43.670	2850	6.627	2856.62
7.000	39.250	2840	16.160	2856.16
7.500	38.750	2880	17.090	2897.09
7.700	38.550	2920	17.460	2937.46
7.850	38.400	2960	17.730	2977.73
8.350	37.900	3000	18.610	3018.61
8.900	37.350	3000	19.550	3919.55
9.300	36.950	3000	20.210	3020.21
9.400	36.850	2940	20.370	2960.37
9.800	36.450	3000	21.010	3021.01
11.300	34.950	2960	23.230	2983.23
13.000	33.250	2960	25.420	2985.42
14.750	31.500	3000	27.330	3027.33
16.850	29.400	3000	29.140	3029.14
16.950	29.300	3020	29.210	3049.21
17.050	29.200	3000	29.280	3029.28
17.250	29.000	3040	29.420	3069.42
17.500	28.750	3080	29.590	3109.59
18.650	27.600	3120	30.270	3150.27
19.600	26.650	3080	30.720	3110.72
20.100	26.150	3040	30.910	3070.91
20.350	25.900	3000	31.000	3031.00
20.500	25.750	2960	31.050	2991.05
20.950	25.300	2820	31.170	2851.17
21.250	25.000	2920	31.250	2951.25
22.050	24.200	2800	31.380	2831.38

27.400	18.850	2800	30.380	2830.38
29.250	17.000	2840	29.250	2869.25
30.750	15.500	2880	28.030	2908.03
32.350	13.900	2920	26.450	2946.45
34.350	11.900	2960	24.040	2984.04
35.500	10.750	3000	22.440	3022.44
36.900	9.350	3040	20.290	3060.29
38.400	7.850	3080	17.730	3097.73
41.200	5.050	3200	12.230	3212.23
43.550	2.700	3400	6.910	3406.91
44.000	2.250	3440	5.820	3445.82
44.100	2.150	3450	5.580	3455.58
44.200	2.050	3460	5.330	3465.33
44.300	1.950	3470	5.080	3475.08
44.400	1.850	3480	4.830	3484.83
44.750	1.500	3480	3.950	3483.95
44.800	1.450	3460	3.820	3463.82
44.900	1.350	3440	3.570	3443.57
45.000	1.250	3460	3.310	3463.31
45.050	1.200	3480	3.180	3483.18
45.100	1.150	3485	3.050	3488.05
45.200	1.050	3490	2.790	3492.79
45.300	0.950	3500	2.530	3502.53
45.400	0.850	3500	2.270	3502.27
45.450	0.800	3480	2.140	3482.14
45.500	0.750	3470	2.010	3472.01
45.600	0.650	3490	1.740	3491.74
45.700	0.550	3500	1.480	3501.48
45.900	0.350	3500	0.950	3500.95
46.100	0.150	3505	0.410	3505.41
46.200	0.050	3505	0.140	3505.14

46.250	0.000	3500	0.000	3500.00
--------	-------	------	-------	---------

La tabla Iv.8, ilustra las cotas y distancias para el trazado de la sección transversal A-A del trayecto San Juan Chasqui (ver figura IV.5).

TABLA IV.8

ALTURA	DISTANCIA
2.900	0.0 m
2.910	7.5 m
2.920	30.0 m
2.930	45.0 m
2.940	67.5 m
2.950	90.0 m
2.970	127.5 m
2.980	150.0 m
2.990	225.0 m
3.000	270.0 m (PICO)
3.000	322.5 m (PICO)
2.990	345.0 m
2.980	360.0 m
2.970	375.0 m
2.950	405.0 m
2.930	450.0 m
2.900	495.0 m

Trayecto: Chasqui - La Mira

Los mapas utilizados en este tramo son: CT - Ñ 111 - C4 Machachi; CT - : 111 - E2, Mulaló; CT - Ñ 111 E4, Latacunga; CT - Ñ IV - A2, Salcedo; CT - Ñ IV - A4, Ambato; CT - Ñ IV C2 Quero; CT - Ñ IV - C4, Guano.

Las alturas obtenidas para las estaciones fueron:

Chasqui.....3500 m snm
La Mira.....3858 m snm

La tabla IV.9, muestra las elevaciones para diferentes puntos del trayecto Chasqui - La Mira.

TABLA IV. 9

d_1 DISTANCIA (km)	d_2 DISTANCIA (km)	ALTURA (m)	h_x (m)	ALTURA + h_x (m)
0.000	98.300	3500	0.00	3500.00
0.200	98.100	3500	1.15	3501.15
0.300	98.000	3520	1.72	3521.72
0.400	97.900	3520	2.30	3522.30
0.000	97.800	3520	2.87	3522.87
0.600	97.700	3515	3.44	3518.44

0.800	97.500	3505	4.58	3509.58
1.000	97.300	3500	5.72	3505.72
2.000	96.300	3500	11.32	3511.32
3.000	95.300	3500	16.81	3516.81
3.125	95.175	3510	17.49	3527.49
4.000	94.300	3500	22.18	3522.18
4.600	93.700	3440	25.35	3465.35
5.000	93.300	3400	27.44	3427.44
5.600	92.700	3360	30.53	3390.53
6.200	92.100	3280	33.58	3313.58
6.400	91.900	3280	34.59	3314.59
7.000	91.300	3240	37.59	3277.59
7.200	91.100	3200	38.58	3238.58
9.150	89.150	3120	47.98	3167.98
16.450	81.150	3000	79.20	3079.20
19.850	78.450	2960	91.60	3051.60
24.050	74.250	2920	105.04	3025.04
24.550	73.750	2960	106.50	3066.50
25.950	72.350	2960	110.44	3070.44
28.750	69.550	2960	117.62	3077.62
29.950	68.350	2920	120.41	3040.41
32.450	65.850	2880	125.69	3005.69
33.650	64.650	2840	127.96	2967.96
35.750	62.550	2880	131.53	3011.53
36.900	61.400	2800	133.27	2933.27
37.950	60.350	2800	134.72	2934.72
39.000	59.300	2800	136.04	2936.04
40.000	58.300	2800	137.17	2937.17
41.750	56.550	2720	138.88	2858.88
44.800	53.500	2680	140.98	2820.98
46.450	51.850	2640	141.67	2781.67

continuación de la tabla IV. 9

47.500	50.800	2680	141.94	2821.94
48.400	49.900	2680	142.06	2822.06
48.600	49.700	2640	142.08	2782.08
49.250	49.050	2600	142.10	2742.10
50.450	47.850	2600	142.00	2742.00
53.350	44.950	2600	141.06	2741.06
55.050	43.250	2680	140.05	2820.05
57.600	40.700	2680	137.90	2817.90
59.850	38.450	2800	135.36	2935.36
61.300	37.000	2760	133.41	2893.41
65.250	33.050	2600	126.85	2726.85
68.600	29.700	2400	119.84	2519.84
68.950	29.350	2400	119.04	2519.04
71.500	26.800	2600	112.71	2712.71
74.600	23.700	2720	104.00	2824.00
75.900	22.400	2600	100.00	2700.00
80.400	17.900	2800	84.65	2884.65
84.250	14.050	3200	69.63	3269.63
85.400	12.900	3200	64.80	3264.80
87.650	10.650	3200	54.91	3254.91
90.750	7.550	3400	40.30	3440.30
91.500	6.800	3400	36.60	3436.60
92.400	5.900	3520	32.06	3552.06
93.050	5.250	3560	28.73	3588.73
93.700	4.600	3600	25.35	3625.35
94.850	3.450	3560	19.24	3579.24
96.100	2.200	3480	12.43	3492.43
96.400	1.900	3520	10.77	3530.77
97.400	0.900	3600	5.15	3605.15
98.050	0.250	3800	1.44	3801.44
98.300	0.000	3858	0.00	3858.00

Trayecto: La Mira - Carshau

Los mapas utilizados en este tramo son: CT - Ñ IV - C4, Guano; CT - Ñ IV - E2, Riobamba; CT - Ñ IV - E4, Guamote; CT - Ñ IV - A3 Alausí; CT - Ñ V - C1 Juncal.

Las alturas obtenidas fueron:

La Mira.....3858 m snm
Carshau.....4008 m snm

TABLA IV. 10

d_1 DISTANCIA (km)	d_2 DISTANCIA (km)	ALTURA (m)	h_x (m)	ALTURA + h_x (m)
0.00	111.00	3858	0.000	3858.00
0.25	110.75	3800	1.629	3801.63
2.05	108.95	3600	13.138	3613.14
5.45	105.55	3400	33.838	3433.84
6.80	104.20	3200	41.680	3241.68
8.70	102.30	3000	52.353	3052.35
10.25	100.75	2800	60.746	2860.75
18.70	92.30	2400	101.530	2501.53
20.45	90.55	2400	108.926	2508.93
22.55	88.45	2800	117.326	2917.33
23.60	87.40	3000	121.331	3121.33

25.00	86.00	3000	126.470	3126.47
26.15	84.85	2800	130.519	2930.52
26.55	84.45	2800	131.891	3139.73
29.65	81.35	3200	141.884	3341.88
31.70	79.30	3400	147.871	3547.87
37.60	73.40	3400	162.343	3562.34
40.80	70.20	3200	168.480	3368.48
44.30	66.70	3200	173.812	3373.81
46.40	64.60	3400	176.320	3576.32
48.80	62.20	3400	178.550	3578.55
50.70	60.30	3600	179.835	3779.83
54.25	56.75	3600	181.099	3781.10
56.55	54.45	3400	181.126	3581.13
57.65	53.35	3400	180.919	3580.92
60.30	50.70	3480	179.835	3659.83
61.75	49.25	3400	178.893	3578.89
65.55	45.45	3400	175.249	3575.25
66.50	44.50	3472	174.073	3646.07
74.25	36.75	3200	160.511	3360.51
75.90	35.10	3000	156.711	3156.71
77.65	33.35	2800	152.331	2952.33
78.25	32.75	2600	150.746	2750.75
81.90	29.10	2400	140.193	2540.19
87.25	23.75	2291	121.893	2412.89
91.05	19.95	3000	106.849	3106.85
92.50	18.50	3200	100.661	3300.66
93.30	17.70	3000	97.141	3097.14
93.80	17.20	2800	94.903	2894.90
94.94	16.05	2600	89.644	2689.64
06.40	14.60	2400	82.790	2482.79
96.90	14.10	2600	80.370	2680.37

98.25	12.75	3000	73.687	3073.69
99.70	11.30	3200	66.271	3266.27
103.05	7.50	3400	45.661	3445.66
104.35	6.65	3520	40.819	3560.82
106.35	5.00	3600	31.176	3631.18
107.85	3.15	3400	19.984	3419.98
109.55	1.45	3600	9.344	3609.34
110.10	0.90	3800	5.829	3805.29
110.35	0.65	3960	4.219	3964.22
110.95	0.05	4000	0.326	4000.30
111.00	0.00	4008	0.000	4008.00

Trayecto: Carshau - Guayaquil

Los mapas utilizados en este tramo son: CT - Ñ V - C1, Juncal; plano de la ciudad de Guayaquil edición 1 IGM (escala 1: 10000).

Las alturas obtenidas fueron:

Carshau.....4008 m snm
 Guayaquil..... 90 m snm

TABLA IV. 11

d_1 DISTANCIA (km)	d_2 DISTANCIA (km)	ALTURA (m)	h_x (m)	ALTURA + h_x (m)
0.00	107.40	4008	0.000	4008.60
0.10	107.30	4000	0.631	4000.63
0.50	106.90	3800	3.144	3803.14
0.90	106.50	3600	5.638	3605.64
2.70	104.70	3400	16.628	3416.73
3.10	104.30	3200	19.019	3219.02
4.20	103.20	3200	25.496	3225.50
5.20	102.20	3200	31.261	3231.26
6.00	101.40	3000	35.788	3035.79
106.80	0.60	50	3.769	53.77
106.90	0.50	85	3.144	88.14
106.95	0.45	85	2.831	88.83
107.02	0.38	50	2.392	52.39
107.10	0.30	40	1.890	41.89
107.16	0.24	50	1.513	51.51
107.30	0.10	80	0.631	80.63
107.40	0.00	90	0.000	90.00

IV.6.- CALCULO DEL PUNTO DE REFLEXION. DETERMINACION DE ALTURA DE ANTENAS.- Cuando la primera zona de Fresnel de cualquier trayecto de microondas esté libre de obstáculos, existe propagación electromagnética en el espacio libre, para lo cual, se deben haber seleccionado las alturas de antenas que cumplan la condición anterior.

De acuerdo a la figura IV.10 y mediante un procedimiento geométrico, se ha determinado la siguiente ecuación⁽³⁾.

$$h_c = h_1 - \frac{d_1}{d} (h_1 - h_2) - \frac{d_1 d_2}{2 Kr_o} - h_s \quad (\text{IV.10})$$

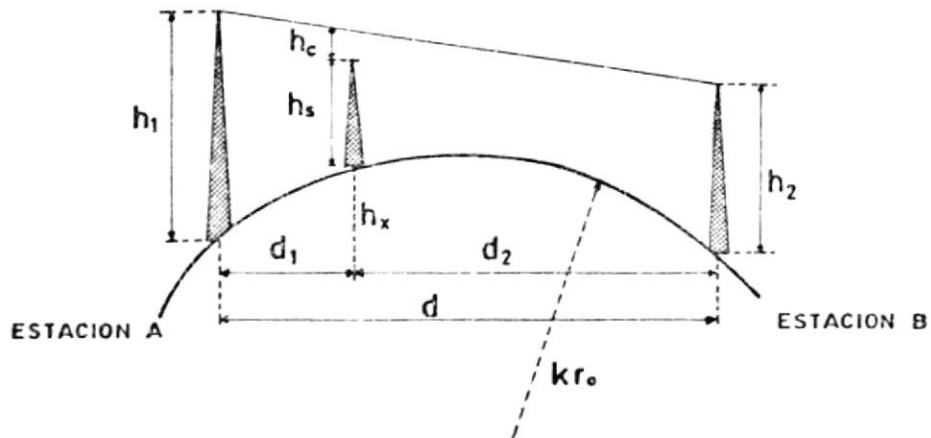
la cual nos da el margen sobre obstáculo, para determinar la altura de antenas en base a la condición de trayecto libre.

Esta condición de "trayecto libre" debe ser: que el margen sobre obstáculo h_c sea mayor que el radio de la primera zona de Fresnel para $k = 4/3$ y $2/3$ de la primera zona de Fresnel para $k = 2/3$, o sea, debe cumplir la condición siguiente:

$$K = (4/3) \quad h_c > b_x \quad (\text{IV.11})$$

$$K = (2/3) \quad h_c > (2b_x/3) \quad (\text{IV.12})$$

Consecuentemente, la requerida altura de antena h_2 sobre el nivel del mar, está dada por las siguientes ecuaciones:⁽³⁾



h_x	ELEVACION DE LA TIERRA EN UN PUNTO CUALQUIERA DEL TRAYECTO
h_s	ALTURA DE LA ELEVACION DEL OBSTACULO
h_c	MARGEN SOBRE OBSTACULO
h_1	EXTREMO DE MAYOR ALTURA
h_2	EXTREMO DE MENOR ALTURA
d_1	DISTANCIA DESDE h_1 a h_s
d_2	DISTANCIA DESDE h_2 a h_s
d	DISTANCIA DEL TRAYECTO
k	4/3
r_0	6.37×10^6 m (RADIO DE LA TIERRA)

Figura IV. 10

$$h_2 \left(K = \frac{4}{3} \right) \geq \frac{d}{d_1} (b_x + h_s) - \frac{d_2}{d_1} h_1 + \frac{d d_2}{2 K \left(K = \frac{4}{3} \right) r_0} \quad (\text{IV.13})$$

$$h_2 \left(K = \frac{2}{3} \right) \geq h_2 \left(K = \frac{4}{3} \right) - \frac{d}{3d_1} b_x + \frac{d d_2}{2 K \left(K = \frac{4}{3} \right) r_0} \quad (\text{IV.14})$$

donde, b_x es el radio de la primera zona de Fresnel en el punto de obstrucción.

Una vez determinadas las alturas de antena, se procede a determinar con la suficiente exactitud, el lugar donde el punto de reflexión está ubicado, para evitar desvanecimiento o distorsiones de la señal RF de ingreso al receptor. Cuando el punto de reflexión está en el río o mar, o si existe un obstáculo reflector en la configuración del terreno, se calculará nuevamente las alturas de antenas para obtener:

- a) Un desplazamiento de la zona de reflexión, a cierta área donde los efectos negativos de la onda reflejada principal sean atenuados al mínimo.
- b) Obtener la condición de trayecto libre.

Existen varios métodos para determinar el punto de reflexión, de ellos se mencionan dos:

Primer Método:

Se calcula el punto de reflexión por el desarrollo de una ecuación cúbica o de tercer grado⁽⁴⁾, la cual expresa la ubicación del punto para cualquier valor de K. Se evalúan los parámetros r, t y ψ por medio de las siguientes ecuaciones:

$$r = 6.37 \frac{K}{4} d (h_2 - h_1) \quad (\text{IV.15})$$

$$t = \frac{d^2}{12} + 8.5 \frac{K}{4} (h_1 + h_2) \quad (\text{IV.16})$$

$$\psi = \cos^{-1} \frac{r}{t \sqrt{t}} \quad (\text{IV.17})$$

La distancia d_3 , entre el punto medio del trayecto y el punto de reflexión, depende de los parámetros t y ψ en la siguiente forma:

$$d_3 = 2 \sqrt{t} \cos \left(\frac{\psi}{3} + 240^\circ \right) \quad (\text{IV.18})$$

Entonces, el punto de reflexión (PRF) estará localizado en: $d_1 = \frac{d}{2} + d_3$ y $d_2 = d - d_1$; ver figura IV.11.

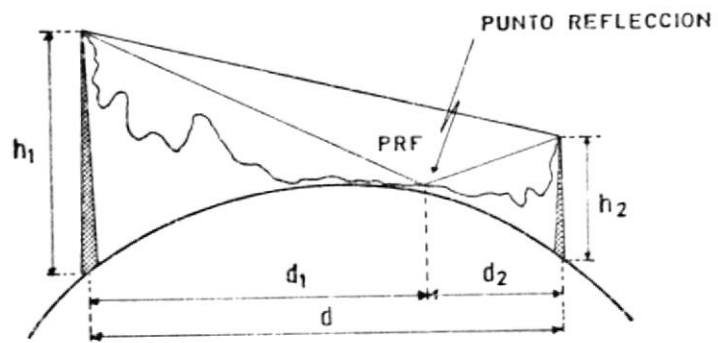


Figura IV . 11

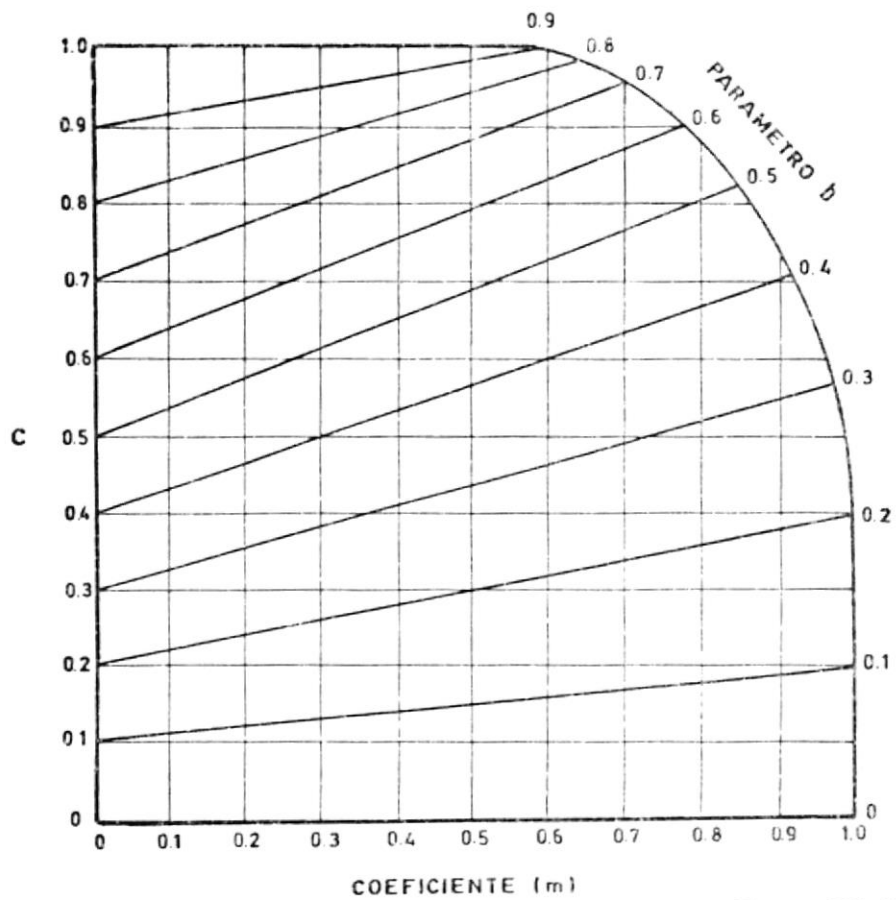


Figura IV . 12

Segundo Método:

La localización del punto de reflexión PRF, es rápidamente calculada por la introducción de un conveniente parámetro b , obtenido desde un nomograma⁽⁵⁾ ilustrado en la figura IV.12; para lo cual, previamente deben haberse calculado dos coeficientes c y m en base de las dimensiones del trayecto.

De acuerdo al nomograma se han determinado los coeficientes c y m :

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad \text{para, } (h_1 > h_2) \quad (\text{IV.19})$$

$$m = \frac{1}{4 Kr_0} \times \frac{d^2}{h_1 + h_2} \quad (\text{IV.20})$$

Con los valores de (IV.19) y (IV.20), obtenemos el parámetro b , el cual da la ubicación del PRF de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + b) \quad \text{y} \quad d_2 = d - d_1$$

Trayecto: San Juan - Chasqui

a) Cálculo de altura de antenas

En el diagrama de perfil de este trayecto (figura IV.5), cuya longitud es de 46.25 km. podemos apreciar que la estación San Juan tiene una cota de 2980 metros, y la estación Chasqui tiene 3500 metros sobre el nivel del mar, y que en los datos de altura para el trazado de perfil dados anteriormente, existen cotas que sobrepasan la altura de la estación Chasqui en sus proximidades, siendo la elevación de 3500 metros en el punto $d_1 = 45.30$ km y $d_2 = 0.95$ km, la que da el inicio de obstrucción, penetrando esta en la primera zona de Fresnel.

Considerando que la ubicación de la antena de la estación San Juan será sobre el edificio del IETEL, se considera una altura de 10 metros de torre, luego se procede a determinar teóricamente la magnitud de esta obstrucción.

Con los siguientes datos del lugar de obstrucción:

$h_1 = 2990$ m	$d_1 = 45.30$ km	$K = 4/3$
$h_2 = 3500$ m	$d_2 = 0.95$ km	$r_0 = 6.37 \times 10^6$ m
$h_s = 3500$ m	$d = 46.25$ km	

y reemplazando en (IV.10), tenemos el margen de obstrucción:

$$h_c = - 12.87 \text{ m.}$$

La elevación $h_s = 3500 \text{ m.}$ sobrepasa la línea de vista en 12.87 m, lo cual también se puede comprobar en el diagrama de perfil, dando como resultado el trayecto obstruido. Para superar esta obstrucción debemos calcular la altura conveniente de torre en Chasqui, para que la primera zona de Fresnel quede libre.

Calculando el semieje de la primera zona de Fresnel en el punto de obstrucción según (IV.6) tenemos que $b_x = 6.41 \text{ m.}$ reemplazando los valores anteriores en (IV.13 y IV.14), se tiene:

$$h_2 (K = 4/3) \geq \frac{46.25}{45.30} (6.41 + 3500) - \frac{0.95}{45.30} 2900 + \dots$$

$$\dots + \frac{46.25 \times 0.95}{2 \times (4/3) \times 6.37} \geq 3519.83 \text{ m}$$

$$h_2 (K = 2/3) \geq 3519.83 - \frac{46.25}{3 \times 45.30} \times 6.41 + \dots$$

$$\dots + \frac{46.25 \times 0.95}{2 \times (4/3) \times 6.37} \geq 3520.24 \text{ m}$$

Como la elevación de la estación Chasqui es de 3500 metros sobre el nivel del mar, la altura mínima necesaria de antena deberá ser superior a 20.24 m. arriba del suelo. Considerando este resultado y la posible vegetación sobre los cerros y los obstáculos próximos a la misma, se recomienda una torre standard de 40 metros. Luego se procede a verificar si esta nueva altura de la estación Chasqui, $h_2 = 3540$ m., puede superar la obstrucción obtenida anteriormente; para ello aplicamos nuevamente la ecuación (IV.10):

Márgen sobre obstáculo para $K = 4/3$

$$h_c = 26.17 \text{ m}$$

Márgen sobre obstáculo para $K = 2/3$

$$h_c = 23.64 \text{ m}$$

Con lo cual se obtiene la condición de trayecto libre, ya que según (IV.11) y (IV.12) se tiene:

$$K = 4/3 \quad h_c = 26.17 \text{ m} > b = 6.41 \text{ m}$$

$$K = 2/3 \quad h_c = 23.64 \text{ m} > \frac{2b}{3} = 4.27 \text{ m}$$

Los valores del trayecto San Juan-Chasqui calculados anteriormente se detallan en la tabla IV.12.

TABLA IV.12

DETALLE	UNIDAD	DIMENSION	
Distancia desde cada estación al obstáculo	km	Desde San Juan 45.30	Desde Chasqui 0.95
Altura del obstáculo sobre el nivel del mar	m	3500	
Margen sobre obstáculo	$K= 4/3$ $K= 2/2$	m	26.17
		m	23.64
Radio de la primera zona de Fresnel en la obstrucción	m	6.41	
Diferencia entre h_c para ($K=4/3$) y el radio de la primera zona de Fresnel	m	19.76	
Diferencia entre h_c para ($K=2/3$) y $2/3$ de la primera zona de Fresnel	m	19.37	
$2/3$ de la primera zona de Fresnel en el punto de la obstrucción	m	4.27	

b) Cálculo del punto de reflexión

El punto de reflexión de este trayecto se ha calculado a continuación, de acuerdo a los dos métodos citados anteriormente. Para efecto de cálculo, se ha tomado la altura de la estación San Juan $h_1 = 2990$ m, considerando 10 metros de edificio y la altura de la estación Chasqui $h_2 = 3540$ m. con 40 metros de torre.

Primer Método

Con los valores:

$$h_1 = 2990 \text{ m.}$$

$$h_2 = 3540 \text{ m.}$$

$$d = 46.25 \text{ km.}$$

$$K = 4/3$$

$$r_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ m.}$$

reemplazando en (IV.15), (IV.16), (IV.17), tenemos:

$$r = 54012.29$$

$$t = 18679.92$$

$$\psi = 88.79^\circ$$

Luego:

$$d_3 = 2 \sqrt{18679.92} \cos \left(\frac{88.79^\circ}{3} + 240^\circ \right) = -1.927$$

entonces:

$$d_1 = 21.197 \text{ km.}$$

$$d_2 = 25.053 \text{ km.}$$

o sea, que el PRF está ubicado a 25.053 km. de la estación Chasqui o 21.197 km. de la estación San Juan.

Segundo Método

Con la condición de $h_1 > h_2$, obtenemos los siguientes valores:

$$h_1 = 3540 \text{ m.}$$

$$h_2 = 2990 \text{ m.}$$

$$d = 46.25 \text{ km.}$$

$$K = 4/3$$

$$r_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ m.}$$

Según (IV.19) y (IV.20):

$$c = 0.0842$$

$$m = 0.0193$$

$$b = 0.0833$$

(ver nomograma figura IV.12)

$$d_1 = \frac{46.25}{2} (1 + 0.0833) = 25.051 \text{ km.}$$

$$d_2 = 46.25 - 25.051 = 21.199 \text{ km.}$$

En este método se consideró que $h_1 > h_2$, o sea que el punto de reflexión está ubicado a 25.051 km. de la estación Chasqui o 21.199 km. de la estación San Juan.

Los valores así obtenidos tanto en el primero como en el segundo método, nos dan un porcentaje de error despreciable, pudiendo utilizarse para cálculos rápidos el segundo método, pero para efecto del análisis más concretos de los tramos siguientes, se utilizará el primero. Ubicando entonces PRF, en contrado en el primer método, en el diagrama de perfil San Juan-Chasqui, trazado para $K = 4/3$, tenemos la trayectoria de la señal principal reflejada. Como se puede observar, esta onda queda bloqueada completamente por las irregularidades del terreno, siendo la elevación de 2990 m localizada a 2.145 km. de la estación San Juan su principal bloqueo, aumentando así la seguridad del sistema.

La elevación anterior está detallada en el diagrama de perfil y cuya sección transversal A-A, se ha graficado (ver figura IV.5).

Trayecto: Chasqui - La Mira

a) Cálculo de altura de antenas

En el diagrama de perfil de este trayecto de 98.30 km. de longitud (ver figura IV.6), se puede apreciar que partiendo de la estación Chasqui de 3500 m. de altura, en los primeros 4 km. hay elevaciones mayores a es a cota, siendo el punto ($d_1 = 0.5$ km. y $d_2 = 97.80$ km.) el más próximo a la línea de vista con 3520 m., el cual obstruye el trayecto, por esta razón, y considerando que en las proximidades de la estación La Mira de 3853 m. de altura, no hay obstáculos, se tomará para efectos de cálculo una altura de torre en esta estación de 15 m. Con estos valores y determinando según la ecuación (IV.6), que el radio de la primera zona de Fresnel en el punto P1 es $b_x = 4.69$ m, se calcula la altura mínima de antena en la estación Chasqui. Reemplazando los valores siguientes en las ecuaciones (IV.13) y (IV.14), se tiene:

$$d = 98.30 \text{ km.}$$

$$d_2 = 0.50 \text{ km.}$$

$$d_1 = 97.80 \text{ km.}$$

$$h_1 = 3873 \text{ m.}$$

$$h_s = 3520 \text{ m.}$$

$$b = 4.69 \text{ m.}$$

$$K = 4/3$$

$$r_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$h_2 (K = 4/3) \geq \frac{98.3}{97.8} (4.69 + 3520) - \frac{0.5}{97.8} 3973 + \frac{98.3 \times 0.5}{2 (4/3) \times 6.37}$$

$$h_2 (K = 4/3) \geq 3525.29 \text{ m.}$$

$$h_2 (K = 2/3) \geq 3525.29 - \frac{98.3}{3 \times 97.8} 4.69 + \frac{98.3 \times 0.5}{2 \times (4/3) \times 6.37}$$

$$h_2 (K = 2/3) \geq 3526.61 \text{ m.}$$

En consecuencia, la altura de antena en la estación Chasqui, será superior a los 3526.61 m, valor obtenido con la condición $K = 2/3$; como la elevación de la estación es de 3500 m la altura necesaria de antena será superior a los 26.61 m. a rriba del suelo. Por ello, se recomienda una altura de torre de 40 m. valor que coincide con el cálculo de la altura de torre del trayecto San Juan-Chasqui, en la estación Chasqui. Luego se procede a verificar si esta nueva altura de $h_2 = 3540$ m. nos dá la condición de trayecto libre.

Márgen sobre obstáculos para $K = 4/3$

$$h_c = 18.82 \text{ m.}$$

Márgen sobre obstáculo para $K = 2/3$

$$h_c = 15.94 \text{ m.}$$

Reemplazando en (IV.11) y (IV.12), tenemos:

$$\begin{array}{lll} K = 4/3 & h_c = 18.82 \text{ m.} & > & b = 4.69 \text{ m.} \\ K = 2/3 & h_c = 15.94 \text{ m.} & > & \frac{2}{3}b = 3.13 \text{ m.} \end{array}$$

con lo cual se ha obtenido la condición de "trayecto libre".

La tabla IV.13, muestra una recopilación de los valores calculados.

b) Cálculo del punto de reflexión

Conociendo que este trayecto tiene una longitud de 98.30 km. y que las alturas óptimas de antenas para obtener la condición de trayecto libre son:

Estación Chasqui	{	3500 m.	(altura de elevación)
		40 m.	(altura de torre)
Estación La Mira	{	3858 m.	(altura de elevación)
		15 m.	(altura de torre)

podemos encontrar la ubicación del PRF para $K = 4/3$, aplicando las ecuaciones (IV.15), (IV.16) y (IV.17):

$$h_1 = 3540 \text{ m.}$$

$$h_2 = 3873 \text{ m.}$$

$$d = 98.30 \text{ km.}$$

tenemos:

$$r = 69504.98$$

$$t = 21808.74$$

$$\varphi = 88.76^\circ$$

Aplicando la ecuación (IV.13) que nos dá la distancia entre el punto medio del trayecto y el PRF, tenemos:

$$d_3 = - 2.1248$$

entonces:

$$d_1 = 47.03 \text{ km.}$$

$$d_2 = 51.27 \text{ km.}$$

Se ubica este punto en el diagrama de perfil de este trayecto trazado para $K = 4/3$ y se describe la trayectoria de la señal reflejada; encontramos que el terreno por donde atraviesa el haz es montañoso y no se presenta favorable para las reflexiones intensas desde el suelo, además muestra muchas variaciones de altura, en especial las elevaciones cercanas a la estación Chasqui, las cuales sirven para bloquear completamente la onda reflejada.

TABLA IV.13

DETALLE	UNIDAD	DIMENSION	
Distancia desde cada estación al obstáculo	km	Desde Chasqui 0.50	Desde La Mira 97.80
Altura del obstáculo sobre el nivel del mar	m	3520	
Márgen sobre obstáculo K=4/3 K=2/3	m	18.82	
	m	15.94	
Radio de la primera zona de Fresnel en la obstrucción	m	4.69	
Diferencia entre el márgen sobre obstáculo K=4/3 y el radio de la primera zona de Fresnel	m	14.13	
Diferencia entre el márgen sobre obstáculo K=2/3 y 2/3 de la primera zona de Fresnel	m	12.81	
2/3 de la primera zona de Fresnel en el punto de la obstrucción	m	3.13	

Trayecto: La Mira - Carshau

a) Cálculo de altura de antenas

Este trayecto tiene una longitud de 111 km. y en el diagrama de perfil (figura IV.7), está dibujado el elipsoide que representa la primera zona de Fresnel, el cual se encuentra libre de obstrucciones y como se puede apreciar el punto ($d_1 = 54.25$ km. $d_2 = 56.75$ km.), más alto es de 3600 m. de altura y tiene un margen sobre obstáculo:

Para $K = 4/3$

$$h_c = 150.07 \text{ m.}$$

para $K = 2/3$

$$h_c = - 31.17 \text{ m.}$$

En consecuencia, este tramo está obstruido para $K = 2/3$, por tener el margen de obstrucción h_c un valor negativo.

Para los diseños y análisis de los trayectos, se ha seleccionado el intervalo de variación de K , entre $4/3$ y $2/3$, siendo la presencia de este último valor poco frecuente, pero que, para seguridad se lo ha considerado; más de acuerdo a estudios realizados por el CCIR el valor de K más bajo evaluado es de 0.8 para una duración del orden del 0.01% del tiempo en

un trayecto de longitud normal, entonces con $K = 0.8$ tenemos:

$$h_c = 4008 - \frac{56.75}{111} (4008 - 3858) - \frac{56.75 \times 54.25}{2 \times 0.8 \times 6.37} - 3600$$

$$h_c = 29.24 \text{ m.}$$

El radio de la primera zona de Fresnel en ese punto es:

$$b = 17.3 \sqrt{\frac{56.75 \times 54.25}{6.77 \times 111}} = 35.02 \text{ m.}$$

Aplicando la ecuación (4) del apéndice B, la elevación de la tierra para $K = 0.8$ en ese punto es:

$$h_x = \frac{56.75 \times 54.25}{2 \times 0.8 \times 6.37} = 302.07 \text{ m.}$$

Como $h_c < b$, hay obstrucción de la primera zona de Fresnel para este valor de K , luego se deberá buscar las alturas de antenas que permitan evitar esta obstrucción. La cota necesaria para cumplir la condición de que el elipsoide no sea obstaculizado en ese punto es:

$$h_x + h_s + b = 302.07 + 3600 + 35.02 = 3937.09 \text{ m.}$$

Indicando esta altura en el diagrama de perfil (sobre el punto del posible obstáculo) y trazando una línea recta a través del tramo, paralela a la primera recta que simula la visi

bilidad o línea de vista, se determina con este procedimiento que 15 m. de altura de torre, tanto en La Mira como en Carshau, serán suficiente para que exista propagación en el espacio libre de este rayecto.

Con estas nuevas alturas de $h_1 = 4023$ m. (estación Carshau), y $h_2 = 3873$ m. (estación La Mira), el margen sobre obstáculo es:

para $K = 4/3$

$$h_c = 165.07 \text{ m.}$$

para $K = 0.8$

$$h_c = 44.24 \text{ m.}$$

como:

$$K = 4/3 \quad h_c = 165.07 \text{ m.} > b = 35.02 \text{ m.}$$

$$K = 0.8 \quad h_c = 44.24 \text{ m.} > b = 35.02 \text{ m.}$$

por consiguiente tenemos condición de trayecto libre.

b) Cálculo del punto de reflexión

Al igual que los trayectos anteriores, este también presenta muchas variaciones de altura, las cuales evitan las re

flexiones intensas que se pudieran presentar. Para describir la trayectoria de la posible onda reflejada, se calculará el punto de reflexión.

Con los siguientes valores:

$$h_1 = 3873 \text{ m.}$$

$$h_2 = 4023 \text{ m.}$$

$$d = 111 \text{ m.}$$

$$k = 4/3$$

tenemos:

$$r = 35353.50$$

$$t = 23398.75$$

$$\phi = 89.434^\circ$$

$$d_3 = -1.0074$$

Finalmente:

$$d_1 = \frac{111}{2} - 1.0074 = 54.49 \text{ km.}$$

$$d_2 = 111 - 54.4926 = 56.51 \text{ km.}$$

Entonces, la ubicación del punto de reflexión PR' es $d_1 = 54.49 \text{ m.}$ y $d_2 = 56.51$ y la posible onda reflejada está indicada en el diagrama de perfil del tramo.

TABLA IV.14

DETALLE	UNIDAD	DIMENSION	
		Desde La Mira 54.25	Desde Carshau 56.75
Distancia desde cada estación al obstáculo	km	Desde La Mira 54.25	Desde Carshau 56.75
Altura del obstáculo sobre el nivel del mar	m	3600	
Márgen sobre obstáculo $K= 4/3$ $K= 2/3$	m	165.07	
Radio de la primera zona de Fresnel en la obstrucción	m	35.02	
Diferencia entre el márgen sobre obstáculo $K=4/3$ y el radio de la primera zona de Fresnel	m	130.05	
Diferencia entre el márgen sobre obstáculo $K=0.8$ y el radio de la primera zona de fresnel	m	9.22	

Trayecto: Carshau - Guayaquil

En este tramo, el valor del margen sobre obstáculo h_c , es suficientemente grande, el cual puede observarse en el diagrama de perfil; por consiguiente, se puede aceptar (ver figura IV.8) que la primera zona de Fresnel está libre de obstrucciones, para cualquier variación de K , siendo por ello innecesario el cálculo de altura de antena.

Considerando las condiciones actuales, tomaré para efecto de cálculo del punto de reflexión, 10 m. de altura de torre en Carshau, y como en Guayaquil, la antena será ubicada en el edificio Torre El Carmen, la altura será de 25 m luego:

Estación Carshau	$\left\{ \begin{array}{l} 4008 \text{ m.} \\ 10 \text{ m.} \end{array} \right.$	(altura de elevación)
		(altura de torre)
Estación Guayaquil	$\left\{ \begin{array}{l} 90 \text{ m.} \\ 25 \text{ m.} \end{array} \right.$	(altura de elevación)
		(altura de edificio)

entonces, $h_1 = 115 \text{ m.}$, $h_2 = 4018 \text{ m.}$ la distancia del tramo es $d = 107.4 \text{ km.}$ y con $K = 4/3$ se puede calcular el PRF así:

$$r = 890063.54$$

$$t = 12671.40$$

$$\psi = 51.40^\circ$$

$$d_3 = - 50.14487$$

Finalmente:

$$d_1 = \frac{107.4}{2} - 50.14487 = 3.555 \text{ km.}$$

$$d_2 = 107.4 - 3.555 = 103.845 \text{ km.}$$

Ubicando este punto PRF ($d_1 = 3.555 \text{ km.}$, y $d_2 = 103.845 \text{ km.}$) en el diagrama de perfil de este trayecto, (figura IV.8) podemos apreciar que el punto de reflexión está situado sobre el agua en el margen Este del Rio Guayas, el cual, haciendo las veces de espejo, reflejaría la onda en tal forma que por la diferencia de fase, disminuiría considerablemente la intensidad de la onda directa. Por esta razón, y de acuerdo al diagrama de perfil, el punto PRF óptimo estaría ubicado lo más cerca posible de la Estación Guayaquil (Edificio Torre El Carmen), ya que de esta manera el Cerro Santa Ana serviría de bloqueo natural para la onda reflejada.

Luego de varias tentativas, se determinó que con una altura de 15 m. en Carshau y 10 m. de altura de torre en el Edificio Torre El Carmen, el PRF estaría ubicado en el lado Sur de la parroquia Eloy Alfaro en $d_1 = 3.118 \text{ km}$ y $d_2 = 104.282 \text{ km}$ disminuyendo al mínimo el efecto negativo de la reflexión que el anterior punto tendría. (Ver detalle en el perfil de este trayecto, figura IV.8).

IV.7.- ANALISIS DE LA EVANESCENCIA EN LA PROPAGACION ELECTRO
MAGNETICA DEL TRAYECTO.- La atmósfera terrestre, en muchas
partes no disfruta de condiciones ideales para la propagación
electromagnética de una señal de microondas, debido a varia
ciones naturales de los parámetros que caracterizan a una "at
mósfera ideal". Aquellas condiciones metereológicas adversas
provocan cambios continuos en el nivel de la señal recibida,
denominándose estos fenómenos "desvanecimientos". Se han rea
lizado muchas observaciones del comportamiento de sistemas en
funcionamiento observados en la propagación de microondas
pueden clasificarse en general como:

- a) Desvanecimientos debido a obstáculos.
- b) Desvanecimientos debido a la propagación por trayecto múlt
tiples.
- d) Desvanecimiento Fresnel o por reflexión del haz.

En este análisis de evanescencia, no se consideran desva
necimientos por obstáculos, debido a que los márgenes sobre
obstáculos h_c de los cuatro trayectos de la red troncal, se e
valuaron considerando un valor de $K = 2/3$ para obtener la vi
sibilidad electromagnética de cada uno de ellos (sección
IV.6).

La ruta seguida por la red troncal en sus tres primeros trayectos desde San Juan a Carshau, presentan condiciones orográficas especiales, como se puede observar en los diagramas de perfil (ver figuras IV.5, IV.6 y IV.7), ya que ciertas elevaciones en el trayecto del haz, representan bloqueos naturales para las reflexiones de la señal, pudiendo considerarse esta propagación favorable, como a través de conductos naturales.

El desvanecimiento por trayectos múltiples en los tres tramos anteriormente nombrados, dependen de las modificaciones fortuitas en las capas atmosféricas que atraviesan.

Estas modificaciones, según estudios, no representan desvanecimientos profundos, pero que, considerando la posibilidad de ocurrir, la aplicación de técnicas de recepción en diversidad de frecuencia, proporcionan una protección excelente contra este tipo de desvanecimiento.

El trayecto Carshau - Guayaquil, a diferencia de los anteriores, presenta características desfavorables de propagación, ya que pueden presentarse desvanecimientos del tipo b y c, alterando el nivel de la señal recibida desde 6 dB por a

riba de las correspondientes, a recorrido por espacio libre, hasta considerables cancelaciones de la señal, según cual sea la fase y la amplitud de la señal reflejada.

Estos tipos de desvanecimientos, afectan la transmisión de información escalonada en el tiempo (datos e información de control) ya que pueden presentarse al azar, y por lo tanto, puede no seguir una curva diaria o en alguna otra forma previsible.

Uno de los métodos para evitar estos desvanecimientos, como se puede ver en el diagrama de perfil de este trayecto, (ver figura IV.8), es desplazar el sitio de reflexión hacia una zona donde las reflexiones sean bloqueadas, y las probabilidades de tener desvanecimientos sean mínimos.

Para tener mayor seguridad de funcionamiento en este tramo, debe considerarse la posibilidad de una recepción en diversidad, lo cual como se indica anteriormente nos permite obtener una mayor confiabilidad en la propagación electromagnética de cualquier trayecto.

IV.8.- ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE RUIDO. RUIDO BASICO Y DE INTERMODULACION.- La distribución de las diferentes clases de ruido, para evaluar la calidad de un sistema de comunicación, se las puede considerar distribuídos en la forma siguiente:

Ruidos Básicos

Estos ruidos, los cuales son térmicos e independientes de la carga son:

- 1.a.- Ruido térmico del receptor dependiente de la atenuación del trayecto.
- 1.b.- Ruido básico de los equipos de modulación.
- 1.c.- Ruido básico de los equipos de radio.

Ruido de Intermodulación

Este tipo de ruido depende de la carga del sistema (distorsiones por no linealidades en los equipos) y reflexiones múltiples en los alimentadores de antena:

- 2.a.- Ruido de intermodulación en los equipos Modem.
- 2.b.- Ruido de intermodulación en equipos de radio.

La figura IV.13, ilustra la localización de los antes mencionados tipos de ruido en un sistema de transmisión-recep

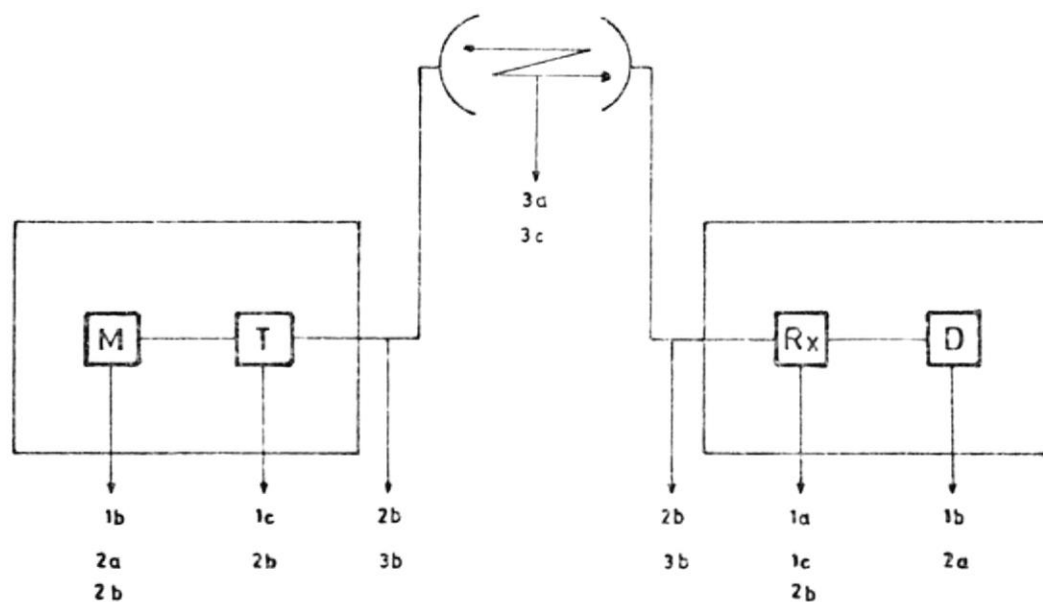


Figura IV 13

M MODULADOR
D DEMODULADOR
T TRANSMISOR
R RECEPTOR

ción.

En la tabla IV.15 se detallan los valores de ruido dados por el fabricante (Fujitsu) los cuales dependen del número de canales telefónicos y su desviación de frecuencia. Estas mediciones de ruido, se realizan simulando la señal telefónica con ruido blanco, que es una señal con espectro uniforme continuo que tiene propiedades estadísticas similares a la de multiplex, obteniéndose de esta manera, valores para las varias frecuencias normalizadas por el CCIR (ver tabla VII,2, capítulo VII), siendo 3886 KHz, la frecuencia del canal superior para los sistemas de 960 canales telefónicos.

En la figura IV.13, se consideran además los siguientes ruidos:

- 3.a.- Ruido de interferencia debido a los canales de RF en el sistema.
- 3.b.- Ruido de interferencia debido al eco de los alimentadores de antena.
- 3.c.- Ruido de interferencia por distorsión en la propagación, los cuales dependen de la ubicación del sitio de la estación.

El comportamiento de estos ruidos es analizado en la sección IV.10.

TABLA IV. 15

	Canal de medición (KHz)	p.W.
Ruidos Básicos para un Modem	3886	20
Ruidos Básicos para un equipo IF - RF (p.W.)	3886	10
Ruidos Básicos de intermodulación	3886	40
Ruidos de intermodula ción IF + RF (p.W.)	3886	37

IV.9.- MARGEN DE DESVANECIMIENTO. UMBRAL DE RUIDO.- Todo sistema de comunicación por radio falla cuando existen desvanecimientos profundos, durante los cuales, el ruido térmico suprime la señal útil de recepción. Uno de los parámetros que limitan hasta determinada calidad de señal de recepción, es el valor del umbral de ruido, siendo el margen de desvanecimiento, el valor entre el nivel del umbral y el de la señal útil.

El umbral de ruido estará definido cuando la potencia de la señal útil a la entrada del receptor es alrededor de 10 dB más que la potencia de ruido. Esta diferencia de 10 dB se debe al hecho de que las crestas de la señal de ruido tienden a ser mayores que el nivel de la portadora útil

Para un ancho de banda $B_{IF} = 40$ MHz, un factor de ruido $N = 5$ (figura de ruido $F = 7$ dB), una temperatura T de 300° K, la potencia de ruido P_R , a la entrada del receptor, tiene un valor de 8.3×10^{-13} vatios (ver capítulo VII, ecuación VII.3).

Con una potencia de transmisión P_T igual a 600 mw (27.8 dBm), tendremos una relación P_R/P_T dada por:

$$10 \log \frac{8.30 \times 10^{-13} \text{ vatios}}{0.6 \text{ vatios}} = - 118.59 \text{ dB}$$

Es decir, el nivel del umbral de ruido es - 108.59 dB
(= 118.59 - 10 dB).

En el diagrama de niveles (figura VII.1) se indica el umbral en - 80.79 dBm (= 108.59 - 27.8).

El margen de desvanecimiento sobre el umbral para cada uno de los trayectos de la red troncal, es determinado en base a las pérdidas totales de cada uno de ellos (ver tabla IV.17 así:

Trayecto I: San Juan - Chasqui

$$108.59 \text{ dB} - 63.29 \text{ dB} = 45.30 \text{ dB}$$

Trayecto II: Chasqui - La Mira

$$108.59 \text{ dB} - 62.99 \text{ dB} = 45.60 \text{ dB}$$

Trayecto III: La Mira - Carshau

$$108.59 \text{ dB} - 62.85 \text{ dB} = 45.74 \text{ dB}$$

Trayecto IV: Carshau - Guayaquil

$$108.59 \text{ dB} - 61.85 \text{ dB} = 46.74 \text{ dB}$$

IV.10.- BALANCE DE RUIDO EN EL ENLACE.- Considerando que la red troncal tiene una capacidad de 960 canales telefónicos, y na etapa de modulación-demodulación, cuatro trayectos IF-RF, y de acuerdo a la tabla IV.15, se determina el ruido total y de intermodulación.

Además de los ruidos térmicos de los receptores para un tiempo sin desvanecimientos, calculados en la siguiente sección de este capítulo, se deberá analizar y calcular los ruidos de interferencias (ver sección IV.3) característicos de cada enlace de esta red troncal.

Ruido de Interferencia debido a los canales de RF.- Para determinar esta clase de ruido en una red, se debe considerar el sistema de frecuencias adoptado en la canalización del sistema, así como también las características técnicas de las antenas y el número de ellas a instalar en una estación repetidora.

Como se puede ver en el capítulo III, figura III.1, el número de frecuencias adoptadas para la canalización de la red troncal es de 12, lo cual y considerando 2 antenas por estación repetidora adaptadas a los equipos mediante filtros y circuladores en ramales "branching", se tiene que el ruido de

interferencia de los canales de radio frecuencias, pueden ser en este caso, sólo por acoplamiento de antenas frente - espalda "front to back" entre dos estaciones.

Pero debido a la atenuación de la señal de interferencia por la directividad de antena (ver figura 4.2), la atenuación por trayecto de la señal no deseada, y por la separación de 20 MHz entre canales adyacentes en las estaciones Chasqui, Mira y Carshau, el ruido de interferencia por canales de RF para esta red troncal es despreciable.

Ruido de Interferencia debido al eco.- Este ruido es producido por reflexiones en los alimentadores de antena, determinando esta reflexión, un retardo de la señal. Este retardo de la señal-eco, es tratado como señal de interferencia en los canales de RF, el cual afecta a la señal de banda base.

El coeficiente de reflexión, o la relación de ondas estacionarias ROE (VSWR), es una medida de acoplamiento de impedancias para equipos de microondas y antenas, a través de guías de ondas o cables coaxiales.

Como se puede ver en la figura (IV.14), la señal eco S'' tiene un doble recorrido que la señal S' , causada por desacoplamiento en la línea de transmisión determinándose consecuen

temente, la degradación del cociente S/D , en forma similar a aquel del ruido térmico para una señal modulada en frecuencia (FM) como se tiene en la figura IV.15.

El tiempo de retardo, de la señal reflejada S'' se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{2L}{v_g} \text{ (seg)} \quad (\text{IV.21})$$

donde:

L = Longitud de la línea de transmisión en m.

v_g = Velocidad de la señal en la línea de transmisión.

para

cable coaxial: $v_g = 3 \times 10^8$ m/seg,

guía de onda : $v_g = 3 \times 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$ (IV.22)

f = radio frecuencia

f_c = Frecuencia de corte en la guía de onda

Se denomina relación de eco r , al cociente entre la amplitud de la señal - eco y la amplitud de la señal principal.

Según la figura IV.14, la señal eco S'' está representada por:

$$S'' = S' r_A r_B \quad (\text{IV.23})$$

de donde la relación de eco r es:

$$r = \frac{S''}{S'} = \frac{S' r_A r_B}{S'} = r_A r_B \quad (\text{IV.24})$$

expresado (IV.24) en dB se tiene:

$$r \text{ (dB)} = 20 \log r_A + 20 \log r_B \quad (\text{IV.25})$$

La relación entre el coeficiente del voltaje de reflexión y el ROE en los puntos A y B, están dados por las expresiones siguientes:

$$r_A = \frac{\rho_A - 1}{\rho_A + 1} \quad , \quad r_B = \frac{\rho_B - 1}{\rho_B + 1} \quad (\text{IV.26})$$

Las pérdidas de retorno en los puntos A y B, están expresadas por:

$$L_A = 20 \log \frac{1}{r_A} \quad , \quad L_B = 20 \log \frac{1}{r_B} \quad (\text{IV.27})$$

Según (IV.25) se tiene que la relación de eco es:

$$r \text{ (dB)} = 20 \log_3 r = - (L_A + L_B) \quad (\text{IV.28})$$

considerando las pérdidas de transmisión del alimentador de antena L_f , entre los puntos A y B, y el factor de 2.5 dB (valor sofométrico) se tiene:

$$20 \log_3 r = - (L_A + L_B + 2 L_f + 2.5) \quad (\text{IV.29})$$

Consideraciones generales para el cálculo del Ruido de Interferencia debido al eco en cada uno de los enlaces de la Red Troncal

- Capacidad del sistema de transmisión: 960 canales
- Desviación de frecuencia: 200 KHz
- Radio frecuencia: 6770 MHz
- Frecuencia de corte en la guía de onda: $f_c = 3158 \text{ MHz}$
(ver capítulo IV, Sección IV.1, Pérdidas en Guías de ondas)
- Pérdidas en guía de onda 0.047 dB/m
- ROE (VSWR) en el terminal de antena 1.08
- ROE (VSWR) en el terminal de salida del transmisor 1.03

Con los valores anteriores y aplicando las ecuaciones (IV.22), (IV.26) y (IV.27) se tiene que:

$$V_3 = 2.65 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

$$r_A = r_B = 0.0385$$

$$L_A = L_B = 28.3 \text{ dB}$$

Trayecto San Juan - Chasqui

Estación San Juan:

$L = 20 \text{ m.}$ (altura de torre más una reserva de 10 m, ver sección IV.6).

$$L_f = 20 \times 0.047 = 0.94 \text{ dB}$$

de (IV.21) tenemos: $\tau = 151 \text{ n. seg}$

de (IV.29) tenemos: $20 \log r = -61 \text{ dB}$

según la figura IV.16, y $\tau = 151 \text{ n. seg}$ se tiene:

$$S/D + 20 \log r = 17$$

reemplazando el valor de $20 \log r$ se tiene:

$$S/D = 17 - (-61) = 78 \text{ dB (15.9 pW)}$$

Estación Chasqui:

$$L = 50 \text{ m.}$$

$$L_f = 2.35 \text{ dB}$$

$$\tau = 377 \text{ n.seg}$$

$$20 \log_e r = -63 \text{ dB}$$

según la figura (IV.16) y $\tau = 377 \text{ n.seg}$, se tiene:

$$S/D + 20 \log_e r = 16.2$$

$$S/D = 16.2 - (-63) = 80 \text{ dB (10 pW)}$$

Calculando en forma similar el cociente S/D para los demás trayectos o enlaces de la red troncal, se obtiene la tabla IV.16, que expresa en resumen el ruido de interferencia por trayecto y total de la red troncal.

Ruido de Interferencia por distorsión en la propagación.- Este ruido depende de las características del trayecto. Si la selección de estos enlaces se ha realizado considerando elevaciones intermedias que bloqueen las posibles reflexiones o ubicando el sitio de reflexión sobre bosques, montañas, etc., que tengan alta pérdida en la reflexión, este ruido que se lo puede considerar como un eco de la propagación, es despreciable.

Sin considerar el enlace Carshau - Guayaquil, la red troncal, presenta características favorables para tener una

confiable propagación (ver figuras IV.5, IV.6, IV.7 y IV.8), por ello, en el antes mencionado enlace, es necesario calcular el valor de este ruido, para determinar su influencia en la calidad del sistema.

Por facilidades de cálculo; ya que en el capítulo V, se determina el valor de la relación de potencia entre la señal directa y reflejada $(D/U)_r$ del enlace Carshau - Guayaquil, este ruido de interferencia por distorsión en la propagación será definido en el capítulo VI.

RELACION ENTRE EL TIEMPO DE RETARDO DEL ECO Y S/D EN EL CANAL SUPERIOR

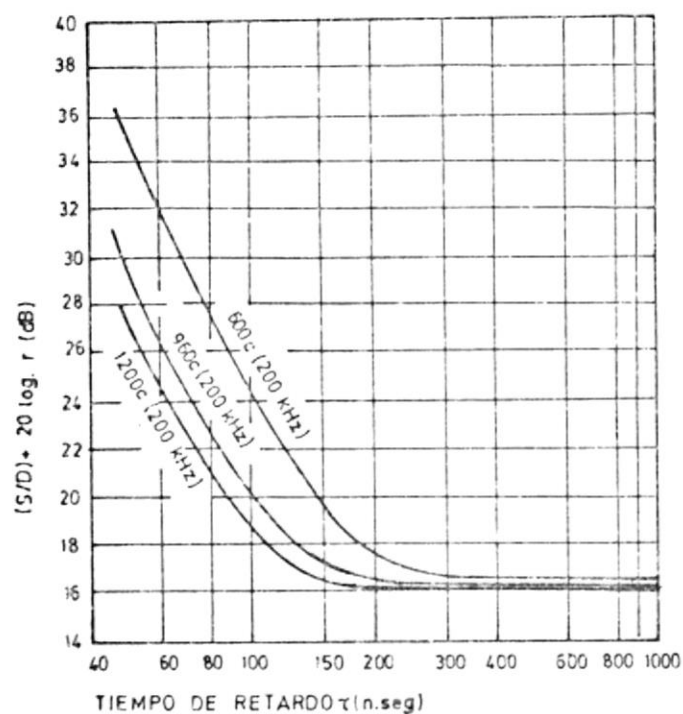


Figura IV. 16

SEÑAL ECO

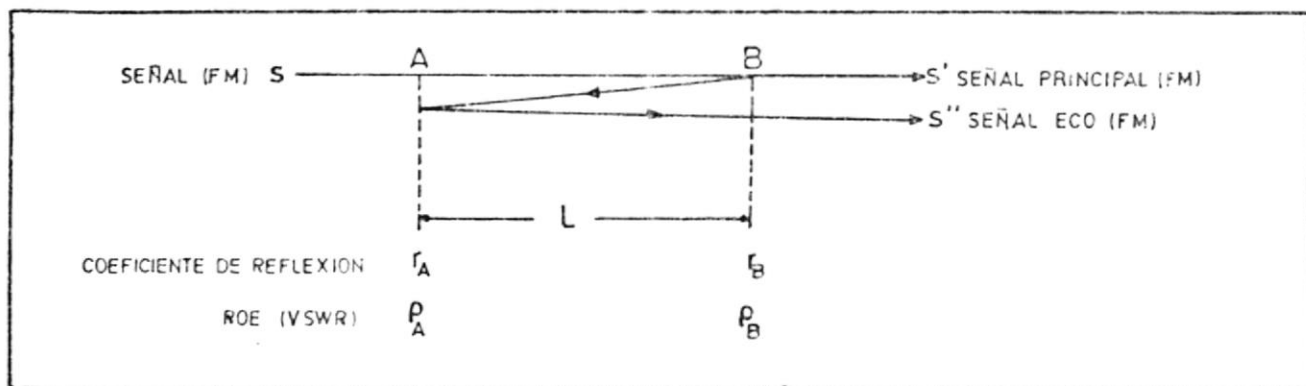


Figura IV. 14

DIAGRAMA VECTORIAL

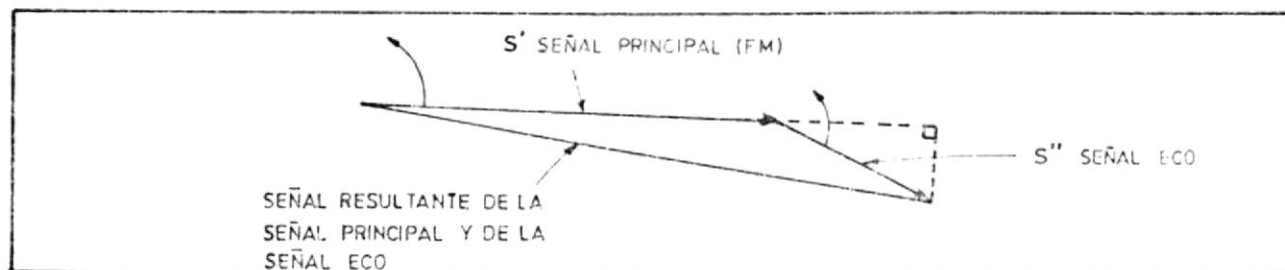


Figura IV 15

TABLA IV. 16

RUIDO DE INTERFERENCIA DEBIDO AL ECO POR TRAYECTO Y TOTAL DE LA RED TRONCAL										
TRAYECTO		I		II		III		IV		
ESTACION		SAN JUAN		CHASQUI		MIRA		CARSHAU		GUAYAGUIL
LONGITUD DE GUIA DE ONDA	m	20	50	50	50	25	25	25	20	15
COCIENTE S/D DE GUIA DE ONDA	dB	78	80	80	80	78.1	78.1	78.1	78	78.7
POENCIA DE RUIDO DE GUIA DE ONDA	pW	15.9	10	10	10	15.5	15.5	15.5	15.9	13.5
RUIDO TOTAL DE INTERFERENCIA EN GUIAS DE ONDAS DEBIDO AL ECO EN LA RED TRONCAL	dB	69.52								
	pW	111.80								

IV.11.- RUIDO TERMICO DE LOS RECEPTORES PARA UN TIEMPO SIN
DESVANECIMIENTO

1.- Trayecto San Juan - Chasqui

Estación	SAN JUAN	CHASQUI
Altura de torre (m)	10	40
Longitud de guía-onda (m)	10 + 10	40 + 10
Diámetro de antena (m)	2.4	3.3
Ganancia de antena dB	41.6	44.3

De la sección IV.1 y IV.2.

$$A_c = 3.60 \text{ dB} \quad \text{y} \quad A_o = 142.30 \text{ dB}$$

Según la figura IV.3, la atenuación en guía de onda rectangular tipo FR-6H para 6770 MHz, es de 0.047 dB/m.

$$A_f = 70 \text{ m} \times 0.047 \text{ dB/m} = 3.29 \text{ dB}$$

$$\text{Como: } G_T + G_R = 41.6 + 44.3 = 85.9 \text{ dB}$$

y según la relación (IV.1), la atenuación total A_T viene dada por:

$$A_T = 142.3 - 85.9 + 3.29 + 3.60 = 63.29 \text{ dB}$$

$$\text{Como: } P_T = 27.80 \text{ dBm} \quad (600 \text{ milivatios})$$

La potencia de señal útil en recepción P_o será:

$$P_o = P_T - A_T = 27.80 - 63.29 = -35.49 \text{ dBm}$$

El ruido térmico en función del nivel de entrada al receptor puede obtenerse aplicando:

$$S/N = P_o + 112.63 \quad (\text{ver capítulo VII})$$

$$S/N = -35.49 + 112.63 = 77.14 \text{ dB}$$

Expresando S/N en picovatios, (10^{-12} vatios) según ecuación VII.8, capítulo VII tenemos:

$$N_{pW} = \text{antilog} \frac{90 - 77.14}{10} = 19.3 \text{ picovatios}$$

II.- Trayecto Chasqui - La Mira

Estación	CHASQUI	LA MIRA
Altura de torre (m)	40	15
Longitud de guía-onda (m)	40 + 10	15 + 10
Diámetro de antena (m)	4	4
Ganancia de antena dB	46.5	46.5

De la sección IV.1 y IV.2.

$$A_c = 3.60 \text{ dB} \quad \text{y} \quad A_o = 148.86 \text{ dB}$$

Según la figura IV.3, la atenuación en guía de onda rectangular tipo ER - 6H para 6770 MHz, es de 0.047 dB/m.

$$A_f = 75 \text{ m} \times 0.047 \text{ dB/m} = 3.53 \text{ dB}$$

$$\text{Como: } G_T + G_R = 46.5 + 46.5 = 93 \text{ dB}$$

$$A_T = 148.86 - 93 + 3.53 + 3.60 = 62.99 \text{ dB}$$

$$P_o = 27.80 - 62.99 = -35.19 \text{ dBm}$$

$$\text{Aplicando: } S/N = P_o + 112.63$$

$$S/N = -35.19 + 112.63 = 77.44 \text{ dB}$$

$$N_{PW} = \text{antilog} \frac{90 - 77.44}{10} = 18 \text{ picovatios}$$

III.- Trayecto La Mira - Carshau

Estación	LA MIRA	CARSHAU
Altura de torre (m)	15	15
Longitud de guía-onda (m)	15 + 10	15 + 10
Diámetro de antena (m)	4	4
Ganancia de antena dB	46.5	46.5

De la sección IV.1 y IV 2.

$$A_c = 3.6 \text{ dB} \quad \text{y} \quad A_o = 149.9 \text{ dB}$$

Según la figura IV.3, la atenuación en guía de onda rec

tangular tipo FR - 6H para 6770 MHz, es de 0.047 dB/m.

$$A_f = 50 \text{ m} \times 0.047 \text{ dB/m} = 2.35 \text{ dB}$$

$$\text{Como: } G_T + G_R = 46.5 + 46.5 = 93 \text{ dB}$$

$$A_T = 149.9 - 93 - 2.35 + 3.6 = 62.85 \text{ dB}$$

$$P_o = 27.80 - 62.85 = -35.05 \text{ dBm}$$

$$\text{Aplicando } S/N = P_o + 112.63$$

$$S/N = -35.05 + 112.63 = 77.58 \text{ dB}$$

$$N_{PW} = \text{antilog.} \frac{90 - 77.58}{10} = 17.5 \text{ picovatios}$$

IV.- Trayecto Carshau - Guayaquil

Estación	CARSHAU	GUAYAQUIL
Altura de torre (m)	15	10
Longitud de cable-onda (m)	15 + 5	10 + 5
Diámetro de antena (m)	4	4
Ganancia de antena dB	46.5	46.5

De la sección IV.1 y IV.2.

$$A_c = 3.6 \text{ dB} \quad \text{y} \quad A_o = 149.6 \text{ dB}$$

$$A_f = 35 \text{ m} \times 0.047 \text{ dB/m} = 1.65 \text{ dB}$$

$$\text{Como: } G_T + G_R = 46.5 + 46.5 = 93 \text{ dB}$$

$$A_T = 149.60 \text{ dB} - 93 + 1.65 + 3.6 = 61.85 \text{ dB}$$

$$P_o = 27.80 - 61.85 = -34.05 \text{ dBm}$$

$$\text{Aplicando } S/N = P_o + 112.63$$

$$S/N = -34.05 + 112.63 = 78.58 \text{ dB}$$

$$N_{pw} = \text{antilog. } \frac{90 - 78.58}{10} = 13.9 \text{ picovatios}$$

IV.12.- BALANCE DEL RUIDO PARA EL CANAL SUPERIOR DEL ENLACE.-

En canales inferiores (ver tabla VII.2, capítulo VII), se permiten valores mayores de potencia de ruido, porque para ellos, el ruido térmico del receptor, es bajo.

Obtenido el ruido térmico de los receptores, y de acuerdo a las tablas IV.15 y IV.16, se puede efectuar el balance de ruido para el canal superior del enlace San Juan-Guayaquil en un tiempo sin desvanecimiento.

<u>Ruido Básico</u>	pW	pW
Ruido térmico del receptor.....	68.7	
Ruido básico del modem (1 x 20).....	20.0	
Ruido básico IF-RF (4 x 10).....	40.0	
Suma de los ruidos.....	128.7	
 <u>Ruido de Intermodulación</u>	 pW	 pW
Modem (1 x 40).....	40.0	
Equipos IF-RF (4 x 37).....	148.0	
Suma de los ruidos.....	188.0	
 <u>Ruido de Interferencia</u>		
Ruido por guía-onda.....	111.8	111.8
Ruido total en tiempo sin desvanecimiento.....		428.5

El CCIR en circuitos hipotéticos de referencia (ver capítulo VI), admite una tolerancia de ruido de 3 picovatios por kilómetro, permitiendo además para circuitos \leq 840 km una reserva adicional de 200 pW, la cual se puede utilizar principalmente como una reserva para desvanecimientos profundos y/o

adicionalmente para equipos auxiliares o envejecimiento de equipos.

Conociendo que la red troncal es de $L = 362.95$ km., el ruido total es de: $3 \times 362.95 = 1088.85$ pW.

El aumento permitido para el ruido térmico del receptor es: $1088.85 - 428.5 = 660.35$ pW.

La reserva mínima de ruido para tiempos de desvanecimientos en esta red es de:

$$10 \log \frac{660.35}{68.7} = 9.6 \text{ dB}$$

El márgen de desvanecimiento entonces será de 9.6 dB, e indica la reserva para desvanecimiento en cada uno de los tramos.

Aceptando 6 dB como reserva del valor S/N a la entrada de los receptores para desvanecimientos normales o esperados; porque es raro que al mismo instante haya en más de un solo tramo, un desvanecimiento fuerte, se tiene que la diferencia de ruido (9.6 - 6) dB se la utilice para desvanecimientos inesperados o más profundos.

IV.13.- ESQUEMA PARA EL BALANCE DE RUIDO.- En la tabla IV.17, o esquema para el balance de ruido, se han detallado ciertos parámetros calculados anteriormente, los cuales servirán de referencia para el cálculo de ruido total. En cada uno de los trayectos, se considera una reserva de desvanecimiento de 6 dB para el cálculo de la potencia de ruido a la entrada del receptor.

IV.14.- ANALISIS DE PROTECCION CONTRA LA EVANESCENCIA.- Es preferible calcular aproximadamente la posibilidad de desvanecimientos profundos, basados en datos de propagación obtenidos mediante mediciones de campo; pero en muchos casos, esto requiere de mucho tiempo, dinero, analizadores de datos, etc.

Actualmente se han recopilado informes sobre desvanecimientos y características de propagación, unos reportados por estudios de algunos países⁽⁶⁾, y otros autorizados por el CCIR⁽⁷⁾, los cuales hacen posible predecir el comportamiento de un radiocnlace sin mediciones de campo.

Generalmente la probabilidad de tener desvanecimiento profundos conforme a la distribución de Rayleigh, está dada

TABLA IV. 17
ESQUEMA GENERAL

RUIDO TERMICO EN CADA TRAYECTO										
TRAYECTO		I		II		III		IV		
ESTACION		SAN JUAN		CHASQUI		MIRA		CARSHAU		GUAYAQUIL
ELEVACION	m	2980		3500		3858		4008		90
DISTANCIA	Km		46.25		98.30		111		107.4	
DIAMETRO DE ANTENAS	m	2.4	3.3	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
ALTURA DE TORRE	m	10	40	40	15	15	15	10	25	
LONGITUD DE GUIA-ONDA	m	20	50	50	25	25	25	20	15	
ATENUACION DE ESPACIO LIBRE	dB		142.30		148.86		149.90		149.60	
ATENUACION GUIA-ONDA	dB	0.94	2.35	2.35	1.18	1.18	1.18	0.94	0.71	
GANANCIA DE ANTENAS	dB	41.6	44.3	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	
ATENUACION TOTAL	dB		63.29		62.99		62.85		61.85	
POTENCIA UTIL EN RECEPCION	dBm		-35.49		-35.19		-35.05		-34.05	
S/N DEL RECEPTOR SIN DESVANECIMIENTO	dB		77.14		77.44		77.58		78.58	
POTENCIA DE RUIDO SIN DESVANECIMIENTO	pw		19.3		18.0		17.5		13.9	
S/N DEL RECEPTOR CON 6dB DE DESVANECIMIENTO	dB		71.14		71.44		71.58		72.58	
POTENCIA DE RUIDO CON 6dB DE DESVANECIMIENTO	pw		76.91		71.78		69.50		55.21	

por la siguiente ecuación: (7)

$$P_r = (K \times Q) \times \left(\frac{F}{4} \right)^{1.2} \times d^{3.5} \quad (\text{IV.22})$$

donde:

P_r = Probabilidad de desvanecimientos

K = Constante = 5.1×10^{-9}

Q = Coeficiente dependiendo de la condición del tramo

= 0.4 sobre zonas montañosas

= 1.0 sobre llanuras o terrenos planos

= $\frac{72}{\sqrt{h}}$ sobre el mar

$h = \frac{1}{2} (h_1 + h_2)$ en m

F = Frecuencia en GHz

d = Distancia del tramo en km

Esta fórmula fue introducida en base a estudios teóricos y algunos datos experimentales. Ha sido comprobada en muchos países incluso aquellos ubicados en áreas tropicales.

En todo sistema de radioenlace, cuando existe deterioro del cociente señal-ruido (S/N), bajo cierto valor, el enlace será silenciado por la operación de ciertos circuitos ("squelch"); de otra manera, la probabilidad P_n de exceder

los picos de ruido un valor N debido a desvanecimientos profundos es dada por:

$$P_n = 1 - e^{-\left(\frac{N_0}{N}\right)}$$

$$P_n = \frac{N_0}{N} \quad N \gg N_0$$

donde:

N_0 = Potencia de ruido en μW bajo condiciones normales.

N = Ruido - pico en μW .

Por consiguiente, la probabilidad de tiempo de interrupción excediendo $N \mu\text{W}$ en cada instante, se expresa como:

$$\begin{aligned} P_i &= \alpha P_r \times P_n \\ &= \alpha P_r \times \frac{N_0}{N} \end{aligned} \quad (\text{IV.23})$$

donde: α = Margen de seguridad

$\alpha = 1$ cuando las pérdidas por reflexión son $< 10 \text{ dB}$

$\alpha = 2$ cuando las pérdidas por reflexión son $> 10 \text{ dB}$

TABLA IV.18

Tramos	d (km)	Probabilidad de Desvanecimientos (%)	Probabilidad de Interrupción (10 ⁻⁴ %)	(0.1 $\frac{2500}{L}$ %) *(10 ⁻⁴ %)
SAN JUAN CHASQUI	46.25	0.258	2.10	18.50
CHASQUI LA MIRA	98.30	3.612	27.38	39.32
LA MIRA CARSHAV	111.00	5.527	40.73	44.40
CARSHAV BUVAQUIL	107.40	12.312	94.35	42.96

Aplicando las ecuaciones IV.22 y IV.23, con $N = 47500$ pW (S/N = 43.7 dB) en cada uno de los trayectos de la red troncal, se confecciona la tabla IV.18.

La Recomendación 395 sugiere que: "Sofométricamente pesada la potencia de ruido, no exceda 47500 pW potencia media de un minuto para más de $0.1 \times \frac{1}{2500}\%$ de cualquier mes".

Según la tabla IV.18, la probabilidad de interrupción del trayecto Carshau-Guayaquil, es la de mayor porcentaje, lo cual se esperaba, debido a las condiciones del trayecto.

Por esta razón, y sólo en este trayecto, se debe reducir la probabilidad de desvanecimientos aplicando un sistema de protección en diversidad de espacio.

IV.15.- DIVERSIDAD DE ESPACIO Y FRECUENCIA.- Una técnica eficiente de reducir los efectos de interferencia debido a desvanecimientos profundos por reflexión, son los métodos en diversidad de recepción.

En el caso de Diversidad de Espacio, dos sistemas de recepción recuperan la misma señal de radio, vía antenas físicamente separadas como se indica en la figura IV.17.

En la práctica, la separación S de antena (considerando una correlación pequeña entre ellas, fácilmente verificable) es dada por:

$$S = \frac{3 \lambda R}{L} \quad (\text{IV.24})$$

donde:

R = Radio efectivo de la tierra ($r_0 \times K$) en km.

L = Longitud del trayecto en km.

λ = Longitud de onda en m.

Se utiliza Diversidad de Frecuencia, cuando los desvanecimientos intensos debido a la propagación por trayectos múltiples, en un trayecto determinado, tienden a producirse en distintos momentos y en frecuencias suficientemente separadas véase la figura IV.18, donde f_1 y f_2 están en la misma banda.

La diversidad de frecuencia en la misma banda, requiere normalmente, una separación del 2% del orden de magnitud (120 MHz en 6 GHz) para resultar razonablemente eficaz, esta diversidad es usada solamente para canales de protección, en estaciones de monitoreo o conmutación.

En la disposición de frecuencia (ver figura III.1), el

porcentaje de separación entre los canales 1 y 2 (televisión y telefonía) son: 4% y 2.66% respectivamente lo cual nos da una magnitud razonable para hacer frente a desvanecimientos no correlativos.

Considerando una diversidad de espacio para el tramo Carshau - Guayaquil, la separación de antena según (IV.24), será:

$$S = \frac{3 \times 0.0443 \times 6370 \times 4/3}{107.4} = 10.5 \text{ metros}$$

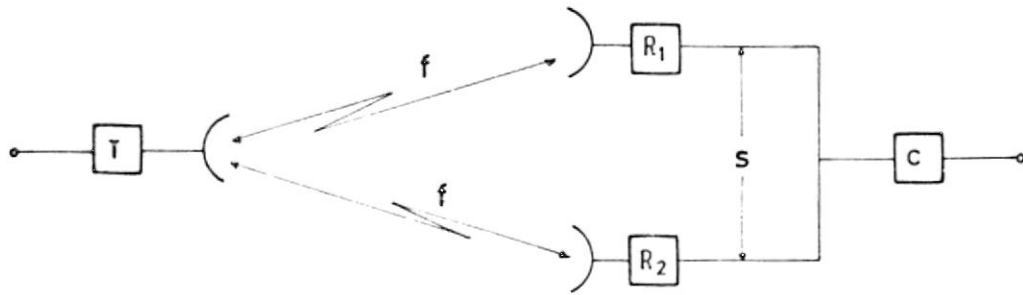


Figura IV.17

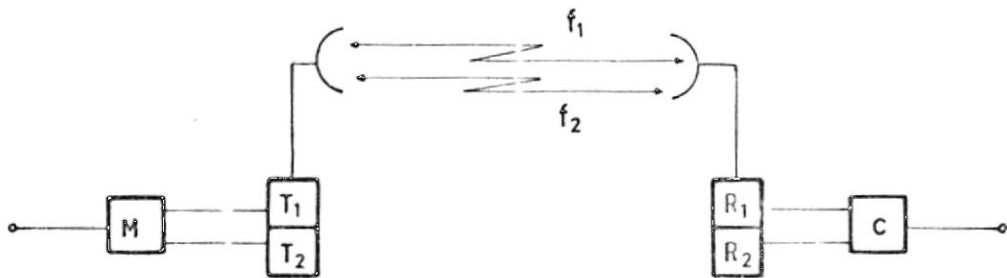


Figura IV.18

T	TRANSMISOR
R	RECEPTOR
C	COMBINADOR
f	FRECUENCIA
S	SEPARACION
M	MODULADOR

Capítulo V

ESTUDIO DE LA EVANESCENCIA TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUITO)
GUAYAQUIL

V.- ESTUDIO DE LA EVANESCENCIA TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN
(QUITO) - GUAYAQUIL

La probabilidad de que se presenten desvanecimientos si multáneos en una red formada por algunos tramos, es muy pequeña, por ello la probabilidad total de interrupción de un sistema de N trayectos, está dada por: (3)

$$T = \sum_{j=1}^N P_{ij} \quad (V.1)$$

Considerando la Recomendación 395 como el valor objetivo para la seguridad y buen funcionamiento de la red troncal de 362.95 km de longitud tenemos:

$$0.1 \frac{362.95}{2500} = 145.18 \times 10^{-4}\%$$

Según la tabla (IV.13) y la relación (V.1), la probabilidad total de interrupción es $T = 164.56 \times 10^{-4}\%$ valor superior al valor objetivo, por ello, y considerando el trayecto Carshau - Guayaquil como el de peor condición de propagación, se aplica diversidad de espacio.

La aplicación de un sistema en diversidad de espacio, introduce un factor de mejoramiento en la confiabilidad de la

propagación del trayecto y en consecuencia de la red. El factor de mejoramiento del trayecto Carshau - Guayaquil (ver figura IV.8) se determina calculando primeramente la atenuación de la onda reflejada debido a la directividad de la antena dimensionada en el párrafo (IV.11.IV), y luego de la cual se calcula el coeficiente de correlación (ρ) de espacio entre las antenas principal y auxiliar del sistema en diversidad de espacio.

Según lo anterior y la figura V.1, se tienen las siguientes relaciones:

$$(D/U)_r = D_{\theta_1} + D_{\theta_2} + L_r \quad (V.7)$$

de donde:

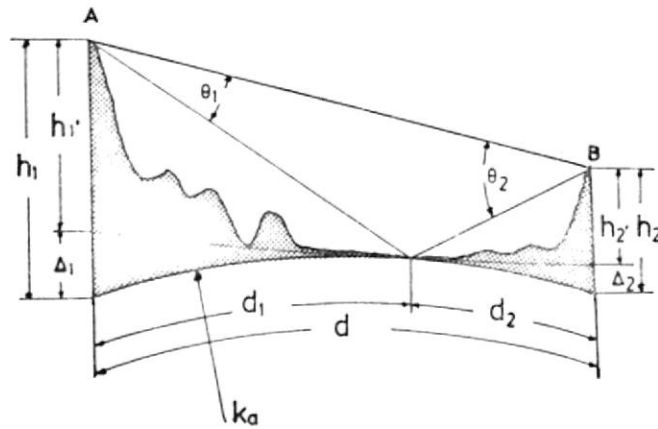
$(D/U)_r$ = Es la relación entre la potencia de la señal directa y la reflejada expresada en dB.

D_{θ_1} = Pérdida de la señal reflejada según θ_1 en dB.

D_{θ_2} = Pérdida de la señal reflejada según θ_2 en dB.

L_r = Pérdida debido a las condiciones geográficas del punto de reflexión expresada en dB.

Una vez determinado el valor de (V.7) y aplicando la siguiente ecuación que calcula el valor de ρ , se determina el



$$\theta_1 = \frac{h_1}{d_1} - \frac{h_1 - h_2}{d} - \frac{d_2}{2ka} \quad (\text{mili-r.}) \quad (\text{v.2})$$

$$\theta_2 = \frac{h_2}{d_2} - \frac{h_2 - h_1}{d} - \frac{d_1}{2ka} \quad (\text{mili-r.}) \quad (\text{v.3})$$

$$h_1' = h_1 - \Delta_1 \quad \Delta_1 = \frac{d_1^2}{2ka} \quad (\text{m}) \quad (\text{v.4})$$

$$h_2' = h_2 - \Delta_2 \quad \Delta_2 = \frac{d_2^2}{2ka} \quad (\text{m}) \quad (\text{v.5})$$

$$S = \frac{2h_1' - h_2'}{d} \quad (\text{m}) \quad (\text{v.6})$$

donde :

θ_1, θ_2 son los ángulos comprendidos entre la onda directa y la reflejada

h_1, h_2 son las alturas efectivas de antenas del trayecto en metros

S diferencia de trayecto entre la onda directa y la reflejada en metros

factor de mejoramiento: (5)

$$\rho = \exp \left[- 0.0021 \cdot S \cdot f \sqrt{0.4 d + K^2 s^2 (1-K^2) \times 10^{-4}} \right] \quad (V.8)$$

donde:

d = Distancia del trayecto en km.

s = Diferencia de trayecto entre la onda directa y la reflejada en m.

$$k = \sqrt{r^2 / (r^2 + 1)}$$

r = Valor real de voltaje (coeficiente de reflexión).

$$r = 10^{\frac{(D/U)_{db}}{20}}$$

f = Radio frecuencia en GHz.

S = Separación de antenas.

Cálculo del Factor de Mejoramiento considerando Diversidad de Espacio en el Trayecto Carshau-Guayaquil (El Carmen)

Según la figura (IV.8), las ecuaciones (V.2), (V.3) y los valores siguientes:

$$h_1 = 90 + 10 = 100 \text{ m.}$$

$$h_2 = 4008 + 15 = 4023 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &= 3.118 \text{ km} \\
 d_2 &= 104.282 \text{ km} \\
 d &= 107.400 \text{ km} \\
 a &= 6.37 \times 10^6 \text{ m} \\
 K &= 4.3
 \end{aligned}$$

se tiene:

$$\theta_1 = \frac{100}{3.118} - \frac{100-4023}{107.4} - \frac{104.282}{2 \left(\frac{4}{3}\right) 6.37} = 62.46 \text{ (mili-r)}$$

$$\theta_1 = 3.53^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{4023}{104.282} - \frac{4023 - 100}{107.4} - \frac{3.118}{2 \left(\frac{4}{3}\right) \times 6.37} = 1.37 \text{ (mili-r)}$$

$$\theta_2 = 0.11^\circ$$

Según la figura V.2, la pérdida de la señal reflejada tanto en θ_1 como en θ_2 , son respectivamente:

$$\begin{aligned}
 D_{\theta_1} &= 33.5 \text{ dB} \\
 D_{\theta_2} &= 0 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

En la tabla (V.1), para algunos sistemas de radio frecuencias, se indican los valores del coeficiente de reflexión y pérdidas de reflexión que tienen aquellos sistemas en base

a las condiciones geográficas que caracterizan el lugar del punto de reflexión. Estos valores han sido recopilados por la NIPPON TELEGRAPH TELEPHONE, obtenidos en forma experimental.

Según la sección (IV.6), el punto de reflexión del trayecto Carshau - Guayaquil, está ubicado a 3.118 km de la estación Guayaquil (El Carmen) y a 104.232 km. de la estación repetidora Carshau, sobre el río Guayas, por ello y de acuerdo a la tabla V.1, las pérdidas de reflexión para 6 GHz son cero ($L_r = 0$).

Con los valores obtenidos y aplicando (V.7), se tiene:

$$(D/U)_r = 33.5 + 0 + 0 = 33.5 \text{ dB} \quad (D/U)_r = 33.5 \text{ dB}$$

aplicando (V.4), (V.5) y (V.6) tenemos:

$$h_1' = 100 - \frac{(3.118)^2}{2 \left(\frac{4}{3}\right) 6.37} = 99.43 \text{ m}$$

$$h_2' = 4023 - \frac{(104.232)^2}{2 \left(\frac{4}{3}\right) 6.37} = 3382.81 \text{ m}$$

$$s = \frac{2 \times 99.43 \times 3382.81}{107.4 \times 1000} = 6.26 \text{ m}$$

con los siguientes valores:

$$S = 10.5 \text{ m.} \quad (\text{ver sección IV.15})$$

$$f = 6770 \text{ MHz}$$

$$s = 6.26 \text{ m.}$$

$$d = 107.4 \text{ km.}$$

aplicando la relación (V.8) se tiene:

$$r = 10^{\left(\frac{33.5}{20}\right)} = 47.32 \quad K = \sqrt{\frac{(47.32)^2}{(47.32)^2 + 1}} \cong 1$$

$$\text{con } K = 1 \text{ el factor } \left[K^2 s^2 (1-K^2) \times 10^{-4} \right] = 0$$

por lo tanto, la relación (V.8) es:

$$\rho = \exp \left[- 0.0021 \times 10.5 \times 6.77 \sqrt{0.4 \times 107.4} \right] \cong 0.4$$

Considerando el margen de desvanecimiento (ver sección IV.9) del trayecto Carshau - Guayaquil en 41.74 dB (= 46.74 dB - 5 dB), debido a que el canal de protección por lo general opera 5 dB antes del valor límite (ver diagrama de niveles fig. VII.1).

Con los valores de $\rho = 0.4$ y 41.74 dB, se tiene según la figura (V.3), un factor de mejoramiento de 100, por ello, la probabilidad de interrupción con diversidad de espacio para el trayecto Carshau - Guayaquil es:

$$P_i = \frac{1}{100} \times 94.35 \times 10^{-4}\% = 0.94 \times 10^{-4}\%$$

Aplicando (V.1), y de acuerdo a los valores anotados en la tabla (IV.18), tenemos:

$$T = 71.15 \times 10^{-4}\%$$

valor inferior al objetivo, al considerar diversidad de espacio en el tramo Carshau - Guayaquil.

PATRON DE RADIACION DE ANTENA PARABOLICA DE 4m DE DIAMETRO

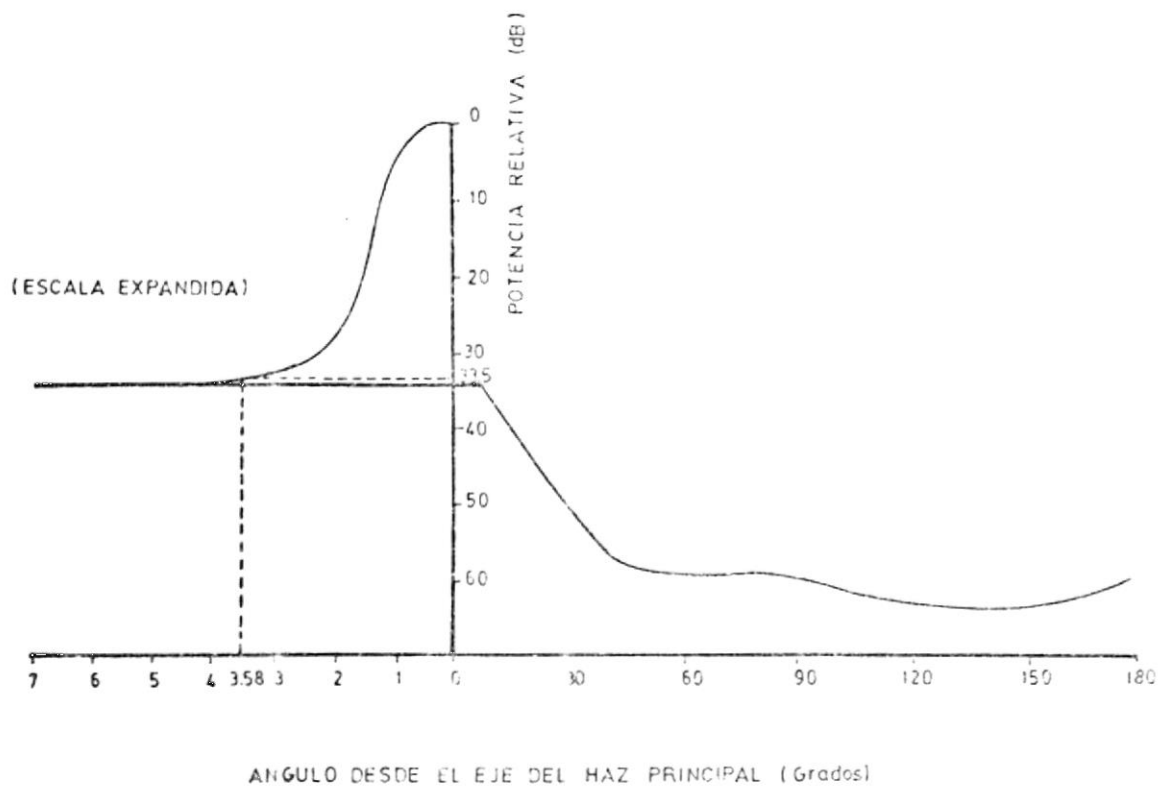


Figura V.2

FACTOR DE MEJORAMIENTO

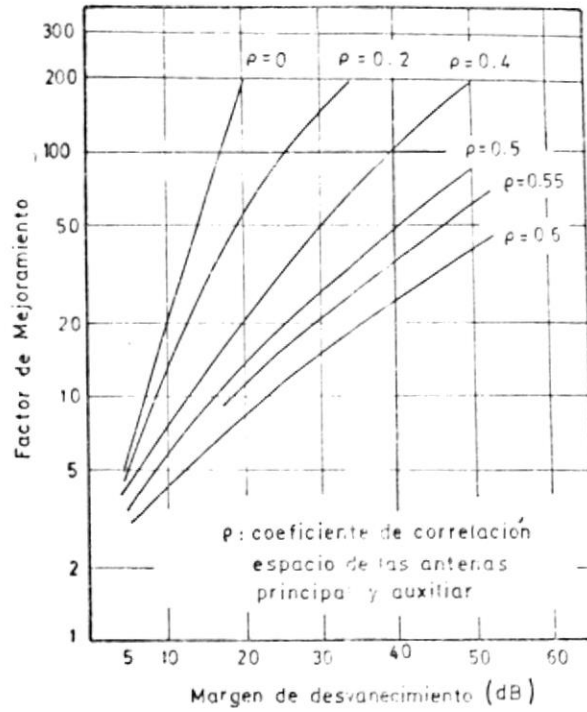


Figura V.3

TABLA V.1

COEFICIENTE DE REFLEXION Y PERDIDA POR REFLEXION

SISTEMA	SUPERFICIE DE AGUA		CAMPO DE ARROZ		CAMPO		CIUDAD- BOSQUES MONTAÑAS	
	coeficiente	pérdida reflexión	coeficiente	pérdida reflexión	coeficiente	pérdida reflexión	coeficiente	pérdida reflexión
2GHz	1.0	0 dB	0.8	2 dB	0.6	4 dB	0.3	10 dB
4GHz	1.0	0	0.8	2	0.5	6	0.2	14
6GHz	1.0	0	0.8	2	0.5	6	0.2	14
11GHz	1.0	0	0.8	2	0.4	8	0.16	16

Capítulo VI

DISTRIBUCION DEL RUIDO TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUILO)
GUAYAQUIL (RELATIVO AL CIRCUITO DE REFERENCIA DEL CCIR DE 2500
KM)

VI.- DISTRIBUCION DEL RUIDO TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUITO) - GUAYAQUIL (RELATIVO AL CIRCUITO DE REFERENCIA DEL CCIR DE 2500 KM)

Para resolver el problema del valor permisible de la relación S/N, en el terminal de un radio enlace es recomendable aplicar de manera oportuna los requerimientos standard para una confiable operación.

Si las facilidades de transmisión de una señal uniforme en el terminal del circuito total es requerida, se hace necesario estimar el incremento de la potencia de ruido, con cualquier tipo de equipos, en proporción aproximada a la longitud del trayecto.

Para aproximarse a este objetivo tan cerca como sea posible "circuitos hipotéticos de referencia" deberán ser considerados para la instalación de dichos sistemas. El CCIR ha recomendado a los fabricantes, los circuitos hipotéticos de referencia como un objetivo de diseño de equipos, los cuales han sido aceptados para interconexiones tanto nacionales como internacionales, (ver figura VI.1).

En cuanto se refiere a la potencia de ruido permisible en el "circuito hipotético de referencia", el CCIR sugiere la

aplicación de las recomendaciones 393 y 395. La primera que sirve como una guía general a los diseñadores de equipos especificando en forma general un solo circuito telefonico de 2500 km. sin dar una norma de comportamiento para el caso en que se usen circuitos probados sobre enlaces reales, y la segunda, que sugiere el ruido en una parte del circuito (2500 km) constituido sobre enlaces reales y que recomienda:

- 1.) que, en circuitos establecidos sobre enlaces reales, los cuales no difieren apreciablemente del circuito hipotético de referencia, la potencia de ruido sofométricamente pesada en el punto de nivel relativo a cero, en los canales telefónicos de un sistema de radio enlace con FDM de longitud L, donde L está entre 280 y 2500 km, no excederá:
 - 1.1 $3 L$ pW de potencia media en cualquier hora.
 - 1.2 $3 L$ pW en un minuto de potencia media para más de 20% de cualquier mes.
 - 1.3 47000 pW en un minuto de potencia media para más del $(L/2500) \times 0.1\%$ de cualquier mes.

- 2.) que, circuitos establecidos sobre enlaces reales, la estructura de los cuales, por razones de planificación difieren sustancialmente del circuito hipotético de referencia, la potencia de ruido sofométricamente pesada, en

el punto de nivel relativo a cero en un canal telefónico de longitud L , donde L está entre 50 y 2500 km., llevan en un sistema de radio enlace FDM una o más secciones de banda base, no deberá exceder:

2.1 para $50 \text{ km} < L \leq 840 \text{ km}$.

2.1.1 $3 L \text{ pW} + 200 \text{ pW}$ de potencia media en cualquier hora.

2.1.2 $3 L \text{ pW} + 200 \text{ pW}$ en un minuto de potencia media para más del 20% de cualquier mes.

2.1.3 47500 pW en un minuto de potencia media para más que $(280/2500) \times 0.1\%$ de cualquier mes, cuando L es menor que 280 km. o más que $(L/2500) \times 0.1\%$ de cualquier mes, cuando L es mayor que 280 km.

2.2 para $840 \text{ km} < L \leq 1670 \text{ km}$.

2.2.1 $3 L \text{ pW} + 400 \text{ pW}$ de potencia media en cualquier hora.

2.2.2 $3 L \text{ pW} + 400 \text{ pW}$ en un minuto de potencia media para más del 20% de cualquier mes.

2.2.3 47500 pW en un minuto de potencia media para más de $(L/2500) \times 0.1\%$ de cualquier mes.

2.3 para $1670 \text{ km} < L \leq 2500 \text{ km}$.

2.3.1 $3 L \text{ pW} + 600 \text{ pW}$ de potencia media en cualquier hora.

2.3.2 3 L pW + 600 pW en un minuto de potencia media para más del 20% de cualquier mes.

2.3.3 47500 pW en un minuto de potencia media para más de $(L/2500) \times 0.1\%$ de cualquier mes.

Antes de evaluar el ruido total de la red troncal para determinar si cumple con la recomendación 395 numeral 2.1 del CCIR mencionado anteriormente, se define el valor del ruido de interferencia por distorsión en la propagación, en el trayecto Carshau - Guayaquil, enunciado en el capítulo IV, sección IV.10.

Este ruido de interferencia $(S/I)_c$ en el canal superior es calculado desde la siguiente relación:

$$(S/I)_c = (D/U)_r + (S/D)_c \quad (VI.1)$$

donde:

$(D/U)_r$ = Es la relación entre la señal directa y la reflejada (ver capítulo V).

$(S/D)_c$ = Es la relación derivada desde la figura VI.2, según una diferencia de trayecto dada por la ecuación V.6 y la tabla VI.1.

con los siguientes valores calculados en el capítulo V.

$$\begin{aligned}(D/U)_r &= 33.50 \text{ dB} \\ s &= 6.26 \text{ m.}\end{aligned}$$

y según la figura VI.2, y tabla VI.1, tenemos que $(S/D)_c = 47$ dB, por consiguiente, aplicando (VI.1) se obtiene el ruido de interferencia Carshau - Guayaquil.

$$(S/I)_c = 33.5 + 47 = 80.5 \text{ dB} \quad (8.9 \text{ pW}).$$

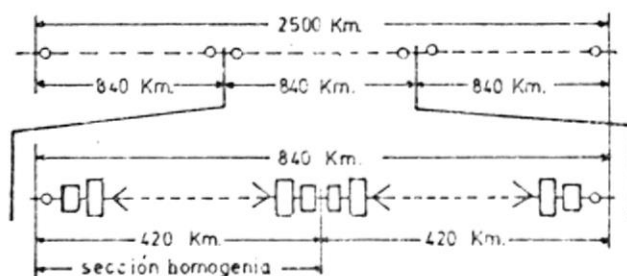
En la tabla VI.2, se indica la potencia de ruido total del trayecto San Juan - Guayaquil, como una sumatoria de los ruidos calculados anteriormente y especificados en las tablas IV.15, IV.16 y IV.17 del capítulo IV.

Además se puede ver que el valor de 642.1 pW, es mucho menor que el valor objetivo de 1288.9 pW, por ello, el comportamiento del ruido total de esta red es satisfactorio.

CIRCUITOS HIPOTETICOS DE REFERENCIA PARA SISTEMAS DE TRANSMISION CON FDM Y TELEVISION VIDEO MAS SONIDO

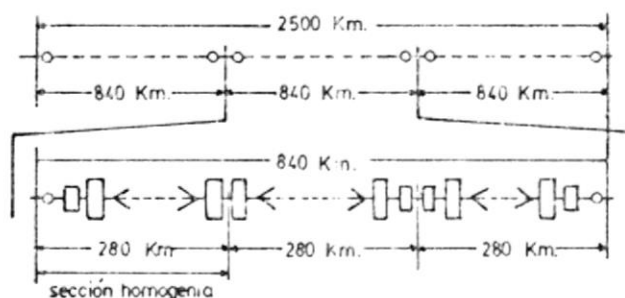
a) RECOMENDACION 391 DEL CCIR

(de 12 a 60 canales usando FDM)



b) RECOMENDACION 392 DEL CCIR

(para mas de 60 canales usando FDM)



c) RECOMENDACION 421 DEL CCIR

RECOMENDACION J21 DEL CCITT

(television más sonido)

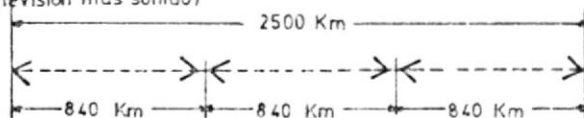


Figura VI.1

SIMBOLOGIA

SISTEMA DE RADIO

< modulator

> demodulator

SISTEMA DE MULTIPLEX

\circ modulator de canal

\square modulator de grupo

\square modulator de supergrupo

VALOR DE (S/D) DEBIDO A LA DISTORSION DE LA PROPAGACION EN EL CANAL SUPERIOR

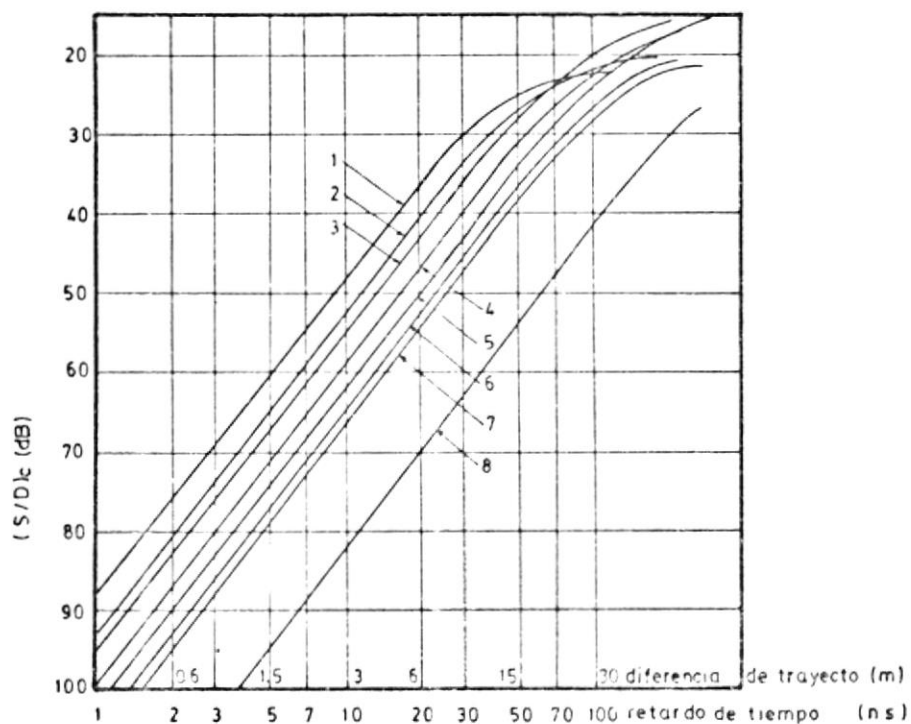


Figura VI.2

TABLA VI.1

Nº	SISTEMA CAPACIDAD DE CANALES	DESVIACION DE FRECUENCIA	Nº	SISTEMA CAPACIDAD DE CANALES	DESVIACION DE FRECUENCIA
1	2700	140	5	600	270
2	1800	140	6	600	200
3	1200	200	7	480	200
4	960	200	8	120	280

$$(S/I)_c = (D/U)_r + (S/D)_c \text{ (dB)}$$

TABLA VI.2

DISTRIBUCION DEL RUIDO TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUITO)- GUAYAQUIL				
DESCRIPCION			CALCULO DE POTENCIA	
RUIDOS BASICOS	POTENCIA DE RUIDO TERMICO EN EL RECEPTOR CON 6 dB DE DESVANECIMIENTO	pW	273.4	
	RUIDO BASICO DEL MODEM (1x20)	pW	20.0	
	RUIDO BASICO IF - RF (4x10)	pW	40.0	
RUIDOS DE INTERMODULACION	RUIDO DE INTERMODULACION DEL MODEM (1x40)	pW	40.0	
	RUIDO DE INTERMODULACION IF - RF (4x37)	pW	148.0	
RUIDOS DE INTERFERENCIA	RUIDO DE INTERFERENCIA DEBIDO A GUIAS DE ONDAS	pW	111.8	
	RUIDO DE DISTORSION EN LA PROPAGACION	pW	8.9	
POTENCIA DE RUIDO TOTAL		pW	642.1	
VALOR OBJETIVO	(3L+200) pW	CCIR Rec. 395	pW	1288.9

Capítulo VII

VALOR DEL SISTEMA. GENERALIDADES. CALCULOS

VII.- VALOR DEL SISTEMA

GENERALIDADES. CALCULOS

El valor del sistema de un equipo de radio enlace, es un parámetro útil en la planificación, el cual determina el comportamiento del ruido como objetivo de diseño para cualquier red o sistema de comunicaciones a larga distancia.

Al igual que en todos los sistemas de comunicaciones, en los equipos de microondas, la capacidad de transmisión está limitada por el ruido presente en la banda que contiene la información, esto es principalmente el ruido térmico, que depende de la atenuación de espacio libre.

La relación señal ruido térmico, es calculada de la siguiente relación: (8)

$$(S/N) = S - A_T \quad (VII.1)$$

donde:

S = Valor del sistema en dB.

A_T = Atenuación total del trayecto en dB.

El valor del sistema es una figura que caracteriza a los

equipos de radio enlace y que se calcula de la siguiente ecuación:

$$S = 10 \log \frac{P_T}{NKT B} \left(\frac{\Delta f}{f_{12}} \right)^2 + P + 2.5 \quad (\text{VII.2})$$

donde:

P_T = Potencia de transmisión.

N = Factor de ruido del receptor, generalmente expresada en forma logarítmica, $r = 10 \log N$, denominándose a F figura de ruido.

K = Constante de Boltzmann.

T = Temperatura en $^{\circ}\text{K}$.

B = Ancho de banda del canal telefónico.

Δf = Desviación de frecuencia en valores rms, ver tabla VII.1.

f_{12} = Frecuencia de modulación (frecuencia asignada en la banda base) ver tabla VII.2.

P = Factor de pre-acentuación o pre-emphasis en dB.

La tabla VII.2 standariza el valor de frecuencia y ancho de banda del canal más alto de la banda base, en la que se pueden realizar mediciones utilizando una señal con espectro uniforme continuo, con características similares a la señal F.D.M.

La máxima potencia de ruido transferida por acoplamiento entre un sistema de antenas y el receptor está dada por:

$$P_R = NKT B \quad (\text{VII.3})$$

donde:

P_R = Potencia de ruido a la entrada del receptor.

En la relación VII.2, se ha considerado el efecto de ponderación en la estimación del ruido si se toma en cuenta, como es lógico, para el caso del psfómetro CCITT con ancho de banda B, en 3.1 KHz (canal telefónico) aumentar S/N en 2.5 dB.

Otro factor que se considera en la relación VII.2, es la distribución uniforme de la relación S/N en los canales de un sistema multicanal, utilizando una red pasiva RLC de pre-acen- tuación. Para calcular este factor P, el CCIR sugiere la re- comendación 275, la cual según la siguiente ecuación y de acuerdo a la tabla VII.3, se determina el valor de pre-acen- tuación.

$$P = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.90}{1 + \frac{5.25}{\left(\frac{f_r}{r} = \frac{f}{f_r} \right)^2}} \right] \quad (\text{VII.4})$$

donde:

f_r = Frecuencia resonante del sistema (= $1.25 f_{max}$).

f_{max} = Frecuencia del canal telefónico más alto de la banda base.

f = Frecuencia de la banda base

Cálculo

Con una capacidad de 960 canales telefónicos para la red troncal, y reemplazando la relación VII.2, los valores de los siguientes parámetros tenemos:

$$F = 7.0 \text{ dB (= } 10 \log_2 N \text{)}$$

$$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ joule /}^{\circ}\text{k}$$

$$T = 27^{\circ} \text{ C (} 300^{\circ} \text{ K)}$$

$$B = 3.1 \text{ KHz (Recomendación CCITT G 232)}$$

$$\Delta f = 200 \text{ KHz}$$

$$f_{12} = 3886 \text{ KHz}$$

$$P = 4 \text{ dB}$$

Expresando la ecuación (VII.2) en la siguiente forma:

$$S = 10 \log_2 P_T - 10 \log_2 NKTB + 20 \log_2 \left(\frac{\Delta f}{f_{12}} \right) + P + 2.5$$

y, con una potencia de transmisión de 0.6 vatios, se tiene que el valor del sistema S es:

$$S = 140.43 \text{ dB}$$

reemplazando este valor en (VII.1), se tiene:

$$S/N = 140.43 - A_T \quad (\text{VII.5})$$

relación que permite determinar el cociente S/N de cada trayecto. Esta relación también puede ser expresada como una función del nivel de potencia a la entrada del receptor P_o ($P_o = P_T - A_T$) obteniéndose:

$$S/N = 112.63 + P_o \quad (\text{VII.6})$$

El nivel de la potencia de ruido está siempre referido a 1 mW. La relación S/N difiere de la potencia de ruido por el signo algebraico ($S/N = - N$) de donde se tiene que:

$$(S/N)_{\text{dB}} = - 90 + 10^e \log N_{\text{pW}} \quad (\text{VII.7})$$

$$N_{\text{pW}} = \text{antilog} \frac{90 + (S/N)_{\text{dB}}}{10} \quad (\text{VII.8})$$

El valor del sistema S, así como la constante de 112.63 dB están graficadas en la figura VII.1.

Cálculo de la relación S/N del trayecto San Juan - Guayaquil
en la banda de los 6 GHz

Las relaciones señal - ruido (S/N), tomando los ruidos térmicos de cada uno de los 4 receptores de la red troncal como potencia de ruido y para la señal, el nivel "cero", que fueron calculados en el capítulo IV Sección IV.11, según la relación VII.6 anotada anteriormente, expresan de que si los niveles de potencia P_o a la entrada de los receptores bajan su correspondiente cociente S/N disminuye, y por lo tanto, - el nivel de ruido del sistema será mayor.

Estos valores de:

$$(S/N)_1 = 77.14 \text{ dB}$$

$$(S/N)_2 = 77.44 \text{ dB}$$

$$(S/N)_3 = 77.58 \text{ dB}$$

$$(S/N)_4 = 78.58 \text{ dB}$$

están graficados en la figura VII.1.

El valor del nivel de umbral de los receptores es de

- 80.79 dBm, para los equipos FM de 960 canales /6 GHz motivos de este análisis (ver capítulo IV, sección IV.9). Cuando los receptores alcanzan este valor, los trayectos se cortan y los receptores producen un ruido máximo. Por ello, al transmitir con una potencia de 27.8 dBm (0.6 vatios), para llegar al nivel de umbral obtenido anteriormente, se tiene una atenuación máxima de tramo de:

$$A_{tm} = 27.8 + 80.79 = 108.59 \text{ dB}$$

En la figura VII.1. se indica la línea de umbral en -80.79 dBm, y se indican las curvas de atenuación de tramos hasta que exista una interrupción. La reserva de interrupción para los diferentes tramos es:

San Juan - Chasqui	$108.59 - 63.29 = 45.30 \text{ dB}$
Chasqui - La Mira	$108.59 - 62.99 = 45.60 \text{ dB}$
La Mira - Carshau	$108.59 - 62.85 = 45.74 \text{ dB}$
Carshau - Guayaquil	$108.59 - 61.85 = 46.74 \text{ dB}$

Cálculo de la relación S/N en el peor canal vocal

El ruido térmico en sistemas que usan pre-acentuación, es siempre peor en el canal superior de la frecuencia de banda base, ya que no obstante de tener aproximadamente el mismo

ruido tanto para los canales inferiores como superiores de la banda base, el ruido de intermodulación llega a ser más alto.

Sin embargo, esta contribución para el ruido, es constante, lo cual puede comprobarse asumiendo una carga convencional similar a las condiciones de la hora cargada (ver nota 4 de la recomendación CCIR 395).

Es normal en la práctica, calcular el valor del sistema para el canal superior de la banda base o para el canal superior de la medición de ruido de esta banda; la diferencia es insignificante en la práctica.

En el análisis de cada trayecto de esta red efectuado en el capítulo IV, Sección IV.11, se calcularon los valores S/N de cada uno de ellos, aplicando la relación VII.6 que es una función del valor del sistema. Este valor de $S = 140.43$ dB, proviene de considerar en el cálculo, el canal superior de medición de ruido 3886 KHz para 960 canales, sugerido por la recomendación del CCIR 399-2, lo cual hace posible determinar el ruido en el peor canal vocal de cada enlace, cumpliendo de esta forma uno de los requerimientos concernientes al ruido total de la red.

DIAGRAMA DE NIVELES

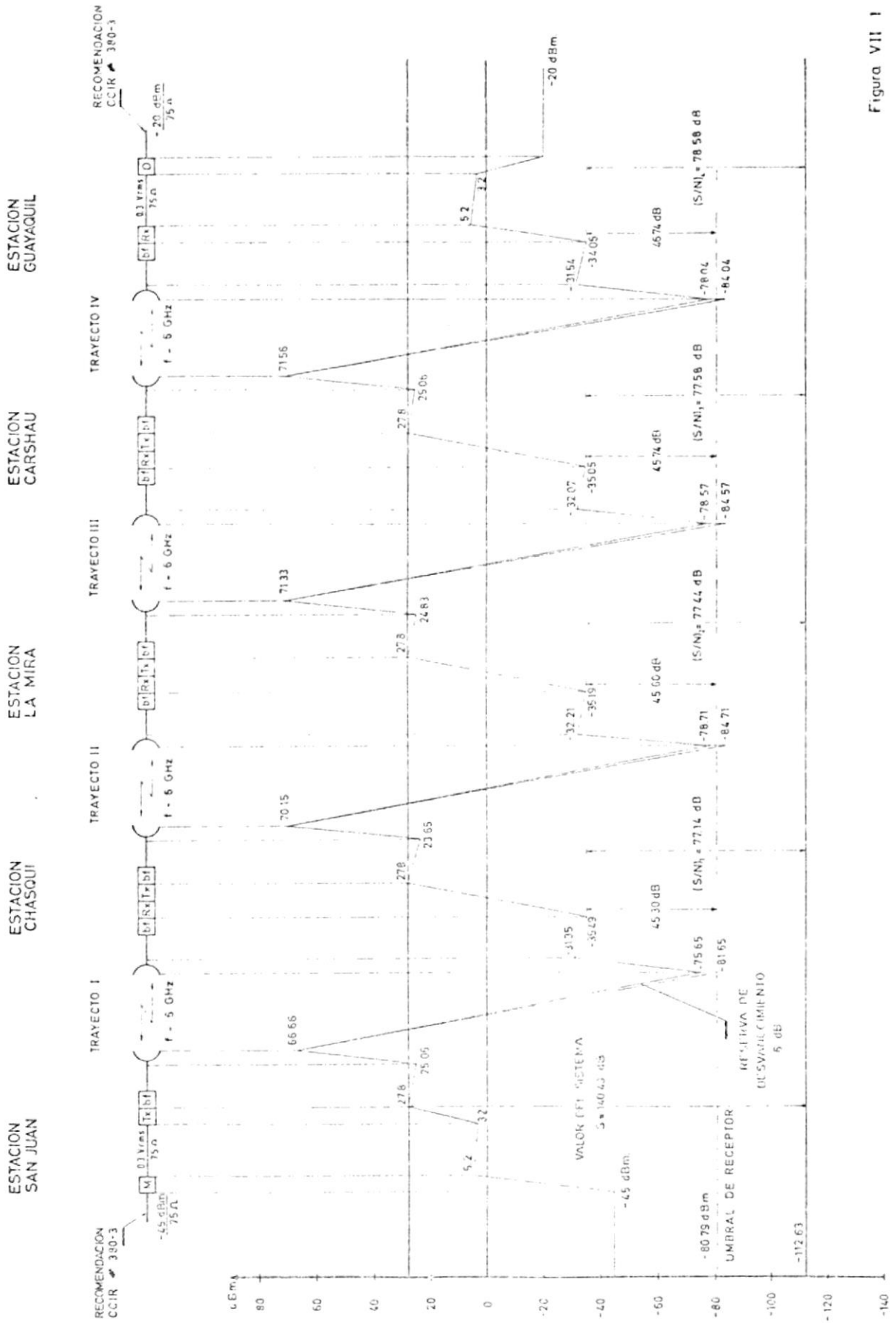


Figura VII 1

Tabla VII-1

NUMERO MAXIMO DE CANALES	DESVIACION DE FRECUENCIA POR CANAL EN KHz	VALOR RMS
24		35
60	50 100 200	
120	50 100 200	
300	200	
600	200	
960	200	
1260	140 200	
2700	140	

CCIR RECOMENDACION 404-2

Tabla VII-3

NUMERO MAXIMO DE CANALES	f_{max} (KHz)	f_r (KHz)
24	108	135
60	300	375
120	552	690
300	1300	1625
600	2660	3325
960	4028	5035
1260	5636	7045
2700	12388	15485

CCIR RECOMENDACION 275-2

Tabla VII-2

CAPACIDAD DEL SISTEMA NUMERO DE CANALES	LIMITES DE BANDA OCUPADA POR CANALES TELEFONICOS (KHz)	FRECUENCIA DE CANALES DE MEDICION (KHz)
60	60 - 300	70-270
120	60 - 552	70-270-534
300	60 - 1300 64 - 1296	70-270-534-1248
960	60 4028 64 4024	70-270 534-1248-2438-3886

CCIR RECOMENDACION 399-2

Capítulo VIII

LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTA RED TRONCAL EN SU UTILIZACION PARA TRANSMISIONES DE: a) Tráfico Telefónico, b) Televisión, c) Teleimpresión, y d) Datos Digitales

VIII.- LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTA RED TROPICAL EN SU UTILIZACION PARA TRANSMISIONES DE: a) Tráfico Telefónico, b) Television, c) Teleimpresión, y d) Datos Digitales.

Los requerimientos de un sistema de radio enlace tales como ruido, ancho de banda, tiempo de interrupción, etc., dependen enteramente sobre las clases de señales transmitidas. El ancho de banda nominal de la señal de un solo canal telefónico es 4 kHz y la señal telefónica trasladada en frecuencia, tiene aproximadamente un ancho de banda de cuatro veces el número de canales telefónicos. Por ello, el ancho de banda de las señales de entrada y/o salida, dependen del número de canales transportados por el sistema. El ancho de banda de una señal de TV es alrededor de 4 a 6 MHz, la cual se puede estimar considerando en unos pocos miles de veces la señal telefónica de 4 kHz.

Por consiguiente, un sistema de baja capacidad tal como sistema de 120 a 240 canales telefónicos, no puede suministrar la transmisión satisfactoria de señales de TV.

La transmisión de TV sobre largas distancias, es realizada por sistemas de radio enlace, los cuales manipulan más de 480 canales telefónicos con normas del CCITT o CCIR en el caso de sistemas monocromáticos de 525 líneas, o por sistemas a

color NTSC con capacidad de 960 canales o más.

Las señales de televisión a color, exigen las más estrictas características de transmisión, debido a la perceptible degradación del color.

Por consiguiente, no solamente el ancho de banda de alrededor de 1000 canales telefónicos es necesaria, sino que también la linealidad de las altas frecuencias como la subportadora de color son requeridas.

El tiempo de interrupción causado por cortes debido a desvanecimientos profundos en la propagación de ondas de radio o falla de equipos, da influencias diferentes para servicios de telefonía y televisión. Aún interrupciones cortas son peligrosas para las imágenes de televisión porque una falta de tiempo pequeña sobre la imagen compuesta de una velocidad de rastreo muy alta, es perceptible a los observadores de TV.

Cuando señales telegráficas, o señales de datos a alta velocidad son interrumpidas, el mensaje o dato tiene algunos errores a pesar de la detección o correcciones realizadas por algunos circuitos que pueden hacer decrecer el error.

Entonces, servicios diferentes requieren comportamientos diferentes de la transmisión, pero desde el punto de vista económico, es deseable que un sistema de radio enlace con varios canales de RF, lleven toda clase de señales, tales como telefonía, televisión, teleimpresión, datos digitales, facsímil, etc., especialmente cuando la demanda de tráfico para cada servicio no es grande y no hay necesidad de construir varias clases de sistemas de radio enlaces diseñados para transportar solamente una clase de señal.

Una estimación correcta del incremento de tráfico futuro es difícilmente posible. Por ello, puede ser provechoso hacer un plan flexible seleccionando sistemas de radio enlaces, los cuales pueden manejar varias clases de servicios en común aunque algunos comportamientos de transmisión no son requeridos necesariamente para toda clase de servicios.

a) Tráfico Telefónico

El comportamiento de esta red troncal para la utilización de tráfico telefónico, es confiable ya que cumple como se ha analizado anteriormente, con las Recomendaciones del CCIR, lo cual ha sido ratificado mediante registros de la señal entre las estaciones terminales San Juan-Quayaquil y en la cual no se presentaron desvanecimientos que superen el lí

mite de 47500 pW (S/N = 43.2 dB) en ningún porcentaje de tiempo (ver capítulo V).

La desventaja en la utilización óptima de esta red troncal, es la de no haber planificado el aprovechamiento futuro de la capacidad total del sistema ya que cuenta con tres canales de RF en doble vía, como fue anotado anteriormente (ver capítulos IX, y III, figura III,1), usándola según el pedido superido al fabricante para que el primer canal de RF lleve solo tráfico telefónico, el segundo señales de TV y el tercero sea de protección para los anteriores con prioridad al primero.

Si se deseara ampliar la capacidad del sistema usando 2 canales de RF para tráfico telefónico (2 x 960) y el tercero como protección o para servicio de TV esporádico, no se podría realizar, porque el diseño de los equipos no lo permite sin interrumpir el sistema.

b) Televisión

Al igual que para telefonía, esta red permite efectuar transmisiones tanto de televisión en blanco y negro como a color, ya que también cumple con las diferentes recomendaciones

internacionales para una confiable operación en esta clase de servicio.

EL IETEL, actualmente no es un organismo que tiene el control y explotación de las programaciones de televisión en el Ecuador, por ello, la inversión efectuada en mantener un enlace estable entre las ciudades de Guayaquil y Quito es desventajoso ya que su prioridad mayor es la telefonía entre otros servicios.

Si por el contrario, el IETEL fuera un organismo de control y explotación de señales de televisión, el sistema tal como está estructurado, de interconectar solamente las antes mencionadas ciudades sin tener la posibilidad de derivar en alguna estación repetidora para determinada población (Riobamba desde Mira por ejemplo) también sería una desventaja en su utilización.

c) Teleimpresión

Esta red troncal de microondas, ha sido proyectada para la transmisión de telefonía y televisión principalmente, pero por su configuración (ver figura Jv.1, equipos multiplex terminales) tiene la posibilidad de que, por cualquier canal telefónico pueda transmitir hasta 24 canales telegráficos para

teleimpresión (sistema telex), con lo cual se hace posible poder suministrar esta clase de servicio.

En consecuencia, este sistema, está restringido a sólo poder proporcionar el ancho de banda del canal telefónico para tráfico telegráfico (ver recomendación H.23 del CCITT).

d) Datos Digitales

Al igual que la teleimpresión, la transmisión de datos sólo es posible realizarla a través de un canal telefónico, el cual debe cumplir con las diferentes recomendaciones del CCITT, para poder transmitir señales de datos eficientemente, cuando se utilicen técnicas de multiplexaje por distribución en el tiempo, dependientes del código y las velocidades seleccionadas.

Capítulo IX

CONCLUSIONES

IX.- CONCLUSIONES

La red troncal de microondas San Juan-Guayaquil, cuya máxima capacidad es de 960 canales telefónicos, se interconecta a través de 3 estaciones repetidoras y 2 estaciones terminales, mediante 3 canales de RF en paralelo, siendo el primero, para tráfico telefónico, el segundo para TV y el tercero para protección con prioridad al primero.

Después del análisis de esta red se puede concluir, en cuanto se relaciona al aspecto técnico de equipos, este sistema cumple con los requerimientos y recomendaciones tanto nacionales como internacionales, para una confiable operación.

En lo que se refiere al aspecto propiamente de diseño de esta red, se puede anotar lo siguiente:

- El sistema tiene 2 estaciones repetidoras de FI, sin posibilidad de derivar.
- tiene tres trayectos consecutivos mayores a 93 km. de longitud.
- La estación Carshau se considera INCONVENIENTE en lo técnico, e INACEPTABLE en lo económico.

Respecto a esta última estación, la inconveniencia técnica

nica se basa en:

- a) Por su ubicación geográfica trae como consecuencia que, cualquiera de los centros (Guayaquil o Quito) encargados del control y funcionamiento de esta estación, no tengan la posibilidad de realizar un mantenimiento rápido y eficiente.
- b) Por sus condiciones meteorológicas.

Por otro lado, la estación Carshau posee desventajas económicas debido a que:

La estación está ubicada en una región inhóspita, donde la topografía del terreno es bastante irregular y las condiciones climáticas son poco ventajosas para trabajar. Se ha construido una carretera para llegar a la estación desde la vía Guayaquil - Cuenca, esta tiene un desarrollo de aproximadamente 18 km. y se ha invertido 20 millones de sucres. También se detalla a continuación, (tabla IX. 1), el valor real de costos de equipos de radio, antenas, rectificadores baterías, repuestos, etc., para la estación Carshau (precios de la compañía NISHO IWAI (FUJITSU), adjudicataria de la licitación 04 de IETEL).

TABLA IX.1

<u>EQUIPO</u>	<u>TIPO Y MODELO</u>	<u>VALOR TOTAL</u>
RADIO BANDA ANCHA	FM-6G-5 y MD-SW	1.156.075
ANTENNAS	PARABOLICAS	176.400
DESHIDRATADORES		18.025
EQUIPOS DE SUPERVISION Y CONTROL		159.375
TORRES	15 m.	202.925
MOTORES - GENERADORES		728.950
GUIA DE ONDA	WEA - 7 - L	29.125
BATERIAS		62.750
RECTIFICADORES		111.125
MATERIAL DE INSTALACION		156.750
INSTALACION, PRUEBAS Y DIRECCION		588.950
OPERACION Y MANTENIMIENTO		46.925
TRANSPORTE		8.500
VARIOS		69.950
		<u>573.211.825</u>

TOTAL:

Como podemos ver, existe una diferencia de S/.16.484.175 entre el valor de la vía de acceso a la estación Carshau y la implementación de equipos de dicha estación.

Por esta desventajosa planificación dentro de la Ingeniería de transmisión por microondas, decidí presentar como Tesis de Grado, previa la obtención del Título de Ingeniero Electrónico, el Tema: ANALISIS DE LA RED TRONCAL DE MICROONDAS DEL IETEL: TRAYECTO SAN JUAN - GUAYAQUIL.

El fundamental propósito de esta tesis, ha sido analizar los diferentes problemas que se presentan en esta red, al haber elegido emplazamientos para estaciones de radio relevadores no convenientes, siguiendo una secuencia netamente técnica y en otros casos, práctica. Se ha introducido en el análisis, soluciones dobles de un mismo problema, con la finalidad de comprender los diferentes conceptos teóricos fundamentales para el planeamiento y diseño de radio enlaces por microondas. Se han analizado cada uno de los trayectos, realizando cálculos de comportamientos de tramo e ilustrado gráficamente cada uno de ellos.

En el siguiente capítulo de sugerencias, se recomienda una ruta alternativa para interconectar Guayaquil-Quito, apoyado este sistema en un doble repetidor pasivo entre los tramos

Guayaquil - Cochabamba, La Mira - Chasqui, y desarrollando una nueva estación repetidora: Pungul, la cual servirá para incorporar a Guaranda, ciudad capital de la provincia de Bolívar, no contemplada dentro de la planificación nacional de telecomunicaciones.

Capítulo X

SUGERENCIAS

X. - SUGERENCIAS

En este capítulo se ha realizado el diseño de una ruta alternativa, entre Guayaquil y Quito, utilizando las mismas características técnicas de los equipos que actualmente existen en la red, motivo de este análisis, como son los ruidos básicos, de intermodulación, atenuación de filtros, circuladores, guías de ondas, etc.

Según la figura X.1, esta ruta alternativa está conformada por cinco trayectos:

1) San Juan - Chasqui	46.25 km
2) Chasqui - La Mira	93.30 km
3) La Mira - Pungul	36.25 km
4) Pungul - Cochabamba	26.10 km
5) Cochabamba - Guayaquil	100.80 km

En esta nueva ruta de 307.7 km., los 2 primeros trayectos son los mismos que forman la red troncal.

El tercer tramo La Mira - Pungul, se apoya en un doble repetidor pasivo, para superar una obstrucción existente a 6.3 km. de La Mira, obteniéndose de esta manera la posibilidad de interconectarse con el sitio denominado Pungul, desde

el cual se puede derivar en BB, para enlazar la ciudad de Guaranda, y al mismo tiempo tener la facilidad de acceso a la estación desarrollada de Cochabamba.

En cuanto respecta al último tramo, por tener el IETEL en funcionamiento 2 sistemas en la banda de 6 GHz, tanto en diversidad de espacio como de frecuencia, se puede afirmar que, es un enlace confiable que no necesita ser comprobado.

Por su ubicación geográfica, (ver figura X.1), la estación Pungul presenta facilidades tanto técnicas como económicas para poder desarrollar las obras básicas de infraestructura como son: casetas, vías de acceso, torres, energía, etc. ya que se encuentra a 16 km. de Guaranda por la vía a Riobamba y desde esta carretera desarrollar una vía de acceso secundaria de aproximadamente 3.5 km. para llegar hasta el sitio donde estará ubicada esta nueva estación.

Esta ruta alternativa comparada con la red troncal o ruta centro, presenta las siguientes ventajas:

- 1.- La facilidad de incorporar a la red nacional, la Provincia de Bolívar (Guaranda), actualmente no contemplada dentro de ninguna ruta troncal del sistema interconectado nacional.

UBICACION DE LAS ESTACIONES
DE LA RUTA ALTERNATIVA DE
MICROONDAS QUITO GUAYAQUIL,
AZIMUTS Y DISTANCIAS DE LOS
TRAYECTOS.

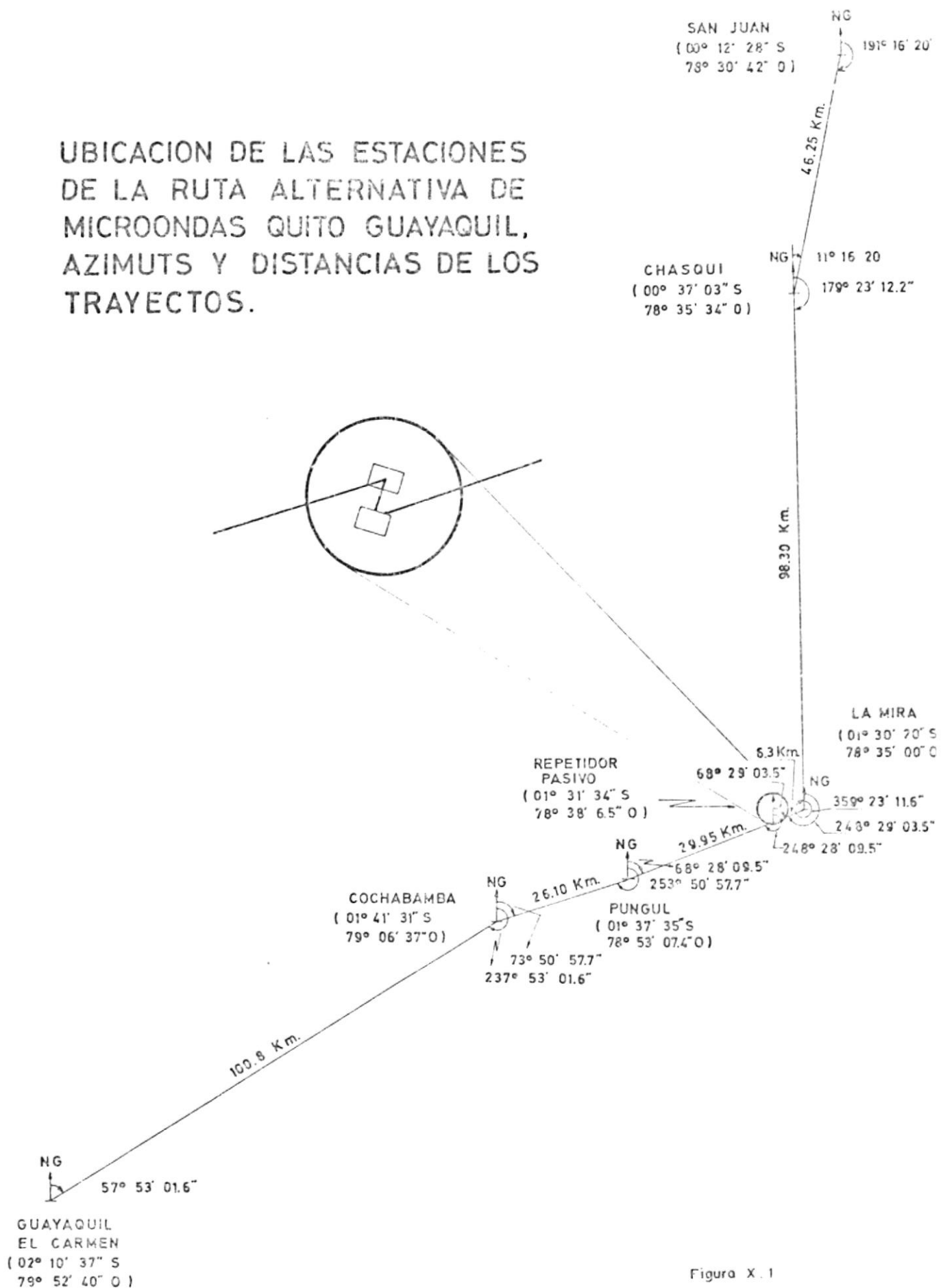


Figura X.1

- 2.- La distancia total de esta ruta alternativa, es menor en 55.25 km. que la red troncal, mejorando el ruido total del sistema, ya que la práctica ha demostrado que puede tomarse como regla general para sistemas que cumplen con las recomendaciones del CCIR en circuitos hipotéticos de referencia, una CALIDAD DE TRANSMISION, que admite 7500 pico vatios de ruido térmico y de intermodulación en trayectos de 2500 km. lo que dá para casos prácticos, una tolerancia de ruido (en el peor canal vocal) de 3 pico vatios por kilómetro.
- 3.- Menos inversión en obras de infraestructura, (vias de acceso, casetas, energía, etc.).
- 4.- No tener tres trayectos consecutivos de más de 98 kilómetros.
- 5.- Descentralizar la estación Carshau.

Al igual que la red troncal, los procedimientos de cálculo para cada trayecto de la ruta alternativa son semejantes con excepción del tramo La Mira - Pungul, por ello, sólo se indicará el cálculo de este enlace, indicándose en las tablas X.1, X.2 y X.3, en forma general, todos y cada uno de los valores necesarios para que esta ruta alternativa cumpla con

las recomendaciones internacionales y objetivos de diseño para una confiable operación.

A continuación, previo al cálculo del trayecto La Mira Pungul, se han resumido e ilustrado los diferentes conceptos teóricos que permiten comprender y calcular el comportamiento del doble repetidor pasivo recomendado en este trayecto.

Debido a que las microondas se propagan en línea visual directa, la trayectoria entre dos puntos terminales de los sistemas de radio comunicación por VHF o SHF debe quedar a una altura libre de obstrucciones. El factor que limita la propagación de las señales de microondas, es la curvatura de la tierra y los obstáculos del trayecto. Como las microondas se comportan de acuerdo con la mayoría de las leyes de la óptica, el problema de los obstáculos se resuelve empleando antenas provistas de un sistema de "ESPEJOS ELECTROMAGNETICOS", o sea reflectores semejantes a los juegos de espejos ópticos. Los reflectores dirigen o cambian el sentido del haz de energía de la señal.

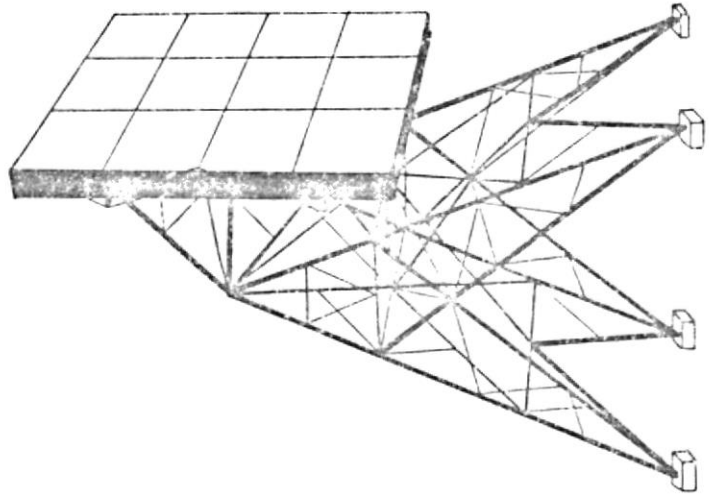
Dichos dispositivos, que consisten en una lámina o rejilla metálica, pueden dividirse en dos categorías generales, según su ubicación:

Reflectores y Repetidores Pasivos.- Los primeros que adoptan diversas formas como rectangulares planos, rectangulares curvos, elípticos planos, elípticos curvos, rectangulares con dos ángulos truncados etc., se emplean generalmente para dirigir el haz en los sistemas de "Antenas Periscópicas" de microondas. Los repetidores pasivos, cuyos dos tipos básicos son el de forma plana que puede consistir en una o varias láminas metálicas (ver figura X.2), y el de dos reflectores parabólicos unidos por el respaldo con un trozo de guía de ondas; se utilizan para cambiar el sentido del haz en ciertos puntos de difícil configuración topográfica del trayecto.

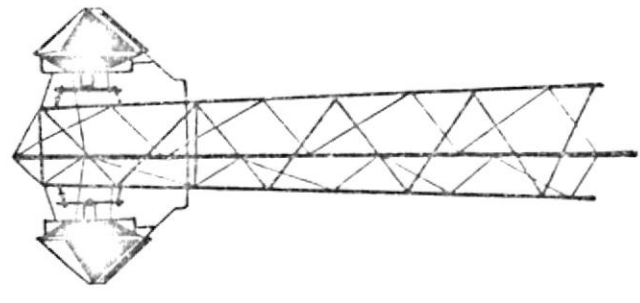
Sin embargo, si el repetidor se encuentra aproximadamente dentro de la línea entre los dos puntos terminales, puede instalarse un doble repetidor pasivo, compuesto de dos reflectores, como se ilustra en la figura X.3. Cuando el ángulo de transferencia ψ de estos dobles repetidores pasivos, es menor que 50° , o sea $\psi < 50^\circ$, tenemos tres posibilidades de instalación, ver figura X.4.

Estas disposiciones permiten obtener el desplazamiento necesario del haz, con una ligera reducción de ganancia en comparación con el uso de un solo reflector. También deben ser consideradas una separación mínima de alrededor de 15 longitudes de ondas, entre el límite de la señal que será refle

REPETIDORES PASIVOS



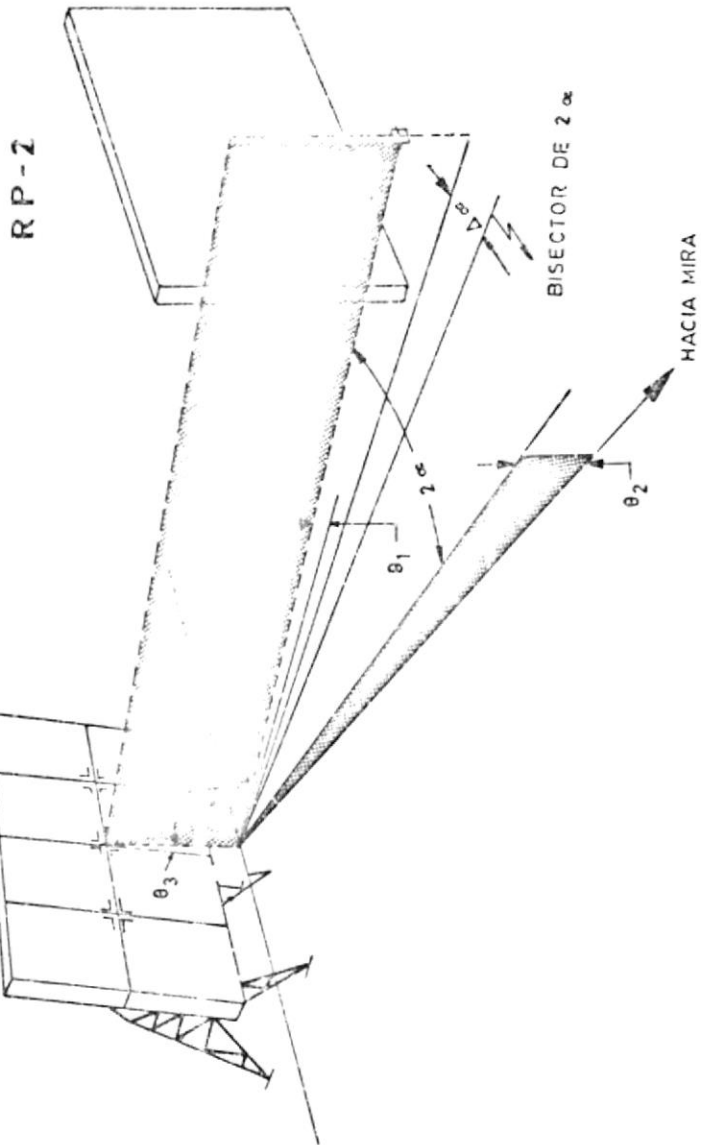
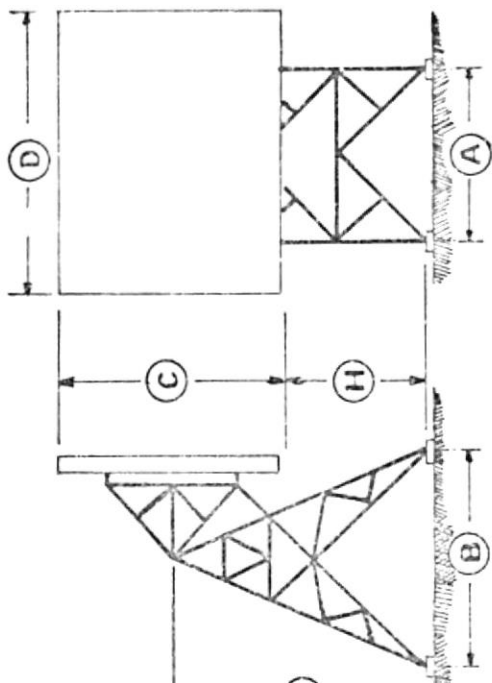
REPETIDOR PASIVO TIPO ESPEJO
CONSISTE DE UNA O VARIAS LAMINAS
METALICAS



DOS ATENAS PARABOLICAS
UNIDAS POR GUIAS DE ONDA

Figura X.2

RP-1

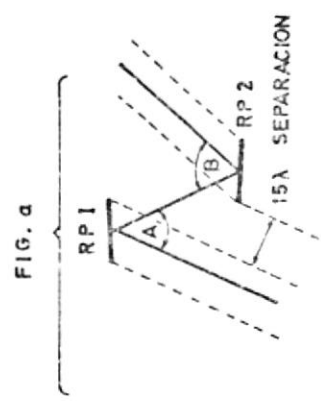
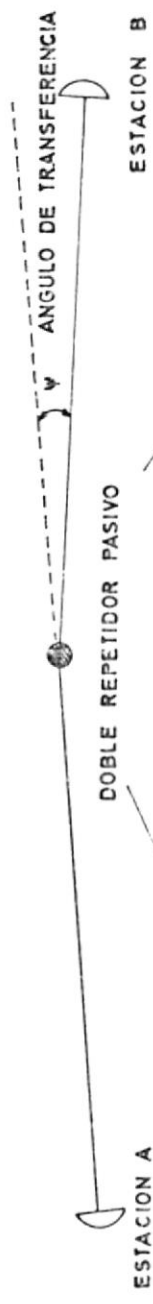


* DIMENSIONE DE LOS REPETIDORES PASIVOS EN PIES - PULGADAS

A	B	C	D	E	H
12	19-2	16	20	23	15

* SEGUN MODELO 1620-15 DE MICRO FLECT. Cia. INC.

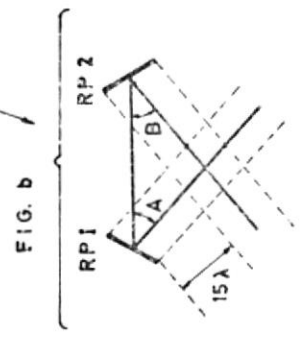
Figura X.3



SE USA CUANDO

$\psi < 30^\circ$

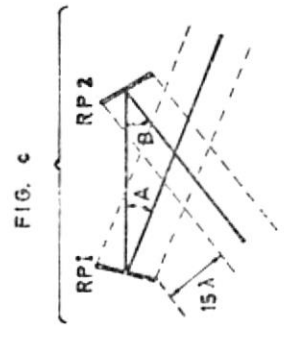
$\psi = B - A$



SE USA CUANDO

$\psi > 30^\circ$

$A = B = \psi/2$



SE USA CUANDO

$\psi > 30^\circ$

$A < B = \psi$

Figure X.4

jada por cualquiera de los espejos y el adyacente reflector.

A fin de determinar las ventajas relativas de las diversas formas de reflectores para las antenas directivas de microondas, se toma como patrón de comparación la antena ISOTRÓPICA. Esta es una antena teórica ideal, cuyas propiedades de irradiación se consideran idénticas en todo sentido de propagación. De aquí, la necesidad de definir en un sentido, la ganancia de un espejo de un repetidor pasivo; definido como una función de la frecuencia; es la relación de la densidad de potencia debido a un repetidor pasivo en un punto de distancia X , para la densidad de potencia que existiría en el mismo punto, si el repetidor pasivo fuera reemplazado por una antena de 100 por ciento de eficiencia Ohmica, localizada en el centro de la superficie del repetidor pasivo y con una potencia de radio frecuencia igual a la aceptada por el repetidor pasivo.

La directividad de las antenas de microondas se expresa en términos de su ganancia en decibelios con respecto a la ganancia hipotética de la antena isotrópica.

La ganancia del conjunto de antena parabólica y reflector, se puede obtener de manera práctica calculando el factor $1/k$ con la siguiente fórmula:

$$1/k = \frac{\pi \lambda}{4 A_e} d \quad (X.1)$$

en la que:

λ = Longitud de onda en m.

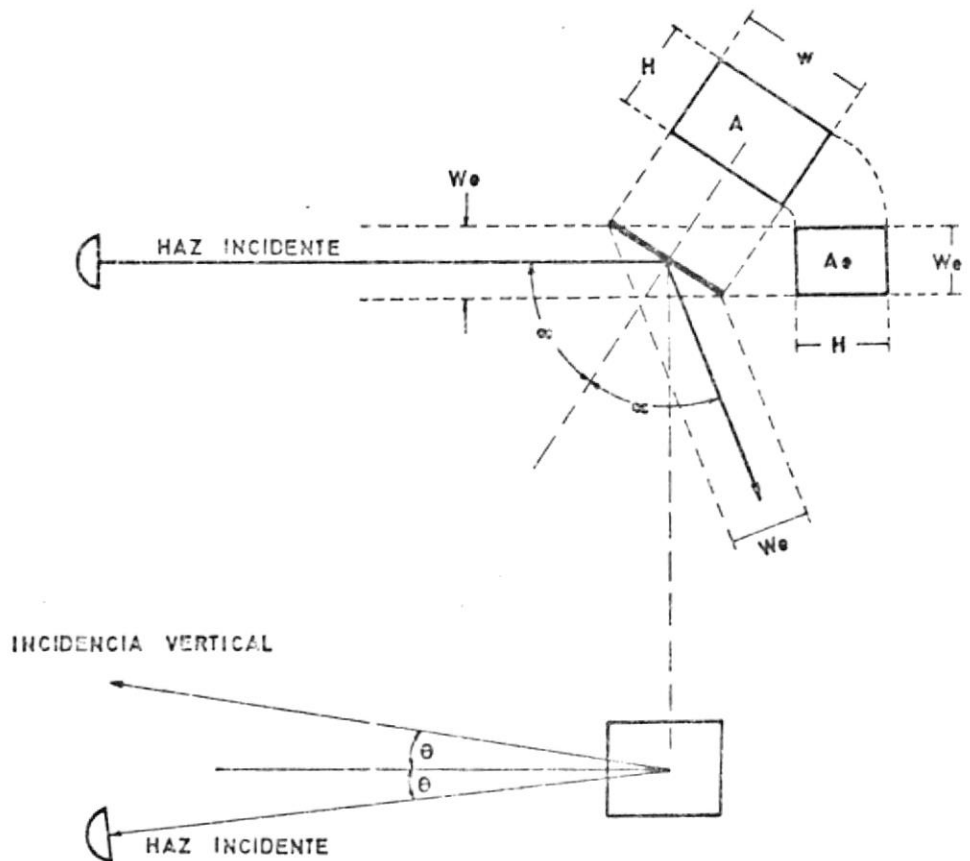
d = Longitud de trayecto en m.

A_e = Area o superficie reflectora eficaz del reflector iluminada oblicuamente por el haz de la antena parabólica (ver figura X.5).

Cuando el valor de $1/k$ es 2.5 o menos, el campo electromagnético de irradiación del repetidor queda en la región próxima a la antena de transmisión. Una vez determinada la existencia del campo cercano, se puede elegir el método apropiado para calcular la ganancia o pérdida de la disposición propuesta del trayecto.

Si se encuentra que el campo de irradiación queda en la región lejana, la ganancia del repetidor resulta independiente de la que tienen las antenas terminales. En este caso, la ganancia bidireccional del repetidor, se puede calcular con la fórmula:

$$\text{Ganancia en dB} = 20 \log \frac{4 \pi A}{\lambda^2} \cos \alpha \quad (X.2)$$



- A = AREA REFLECTOR PASIVO
- A_e = AREA EFECTIVA DEL REFLECTOR PASIVO
- H = ALTURA
- W = ANCHO
- W_e = ANCHO EFECTIVO
- α = 1/2 ANGULO HORIZONTAL
- θ = 1/2 ANGULO VERTICAL

$$A_e = A \cos(c/2) \quad (x.3)$$

Figura X.5

en la que:

α = 1/2 del ángulo horizontal

λ = Longitud de onda

A = Area de superficie

Para determinar la pérdida neta entre los dos puntos terminales de un sistema de microondas, cuando existe un campo de irradiación lejano, basta calcular la atenuación del trayecto en ambos sentidos desde el repetidor, luego sumar los dos valores y restar del resultado, la ganancia bidireccional del repetidor y la ganancia de las antenas terminales.

Si el repetidor se encuentra en el campo cercano de cualquiera de las dos antenas parabólicas, su ganancia deja de ser independiente porque entra en interacción con la de las antenas, reduciéndose así la ganancia neta. Por lo tanto, en este caso, no debe emplearse el método de cálculo anterior porque daría el resultado excesivamente optimista.

Trayecto La Mira - Pungul

Este trayecto La Mira - Pungul, se apoya en un doble reflector pasivo (ver figura X.6) utilizados para modificar la dirección de la señal radioeléctrica a fin de superar la obs

ESTACION
LA MIRA
ALTURA : 39.58 m.



$d_1 = 6.3 \text{ Km.}$

REPETIDOR $d_2 = 25 \text{ m.}$
PASIVO 30 m^2



REPETIDOR
PASIVO 30 m^2

$d_3 = 29.95 \text{ Km.}$



ESTACION
PUNGUL
ALTURA : 4.200 m.

Figura X 6

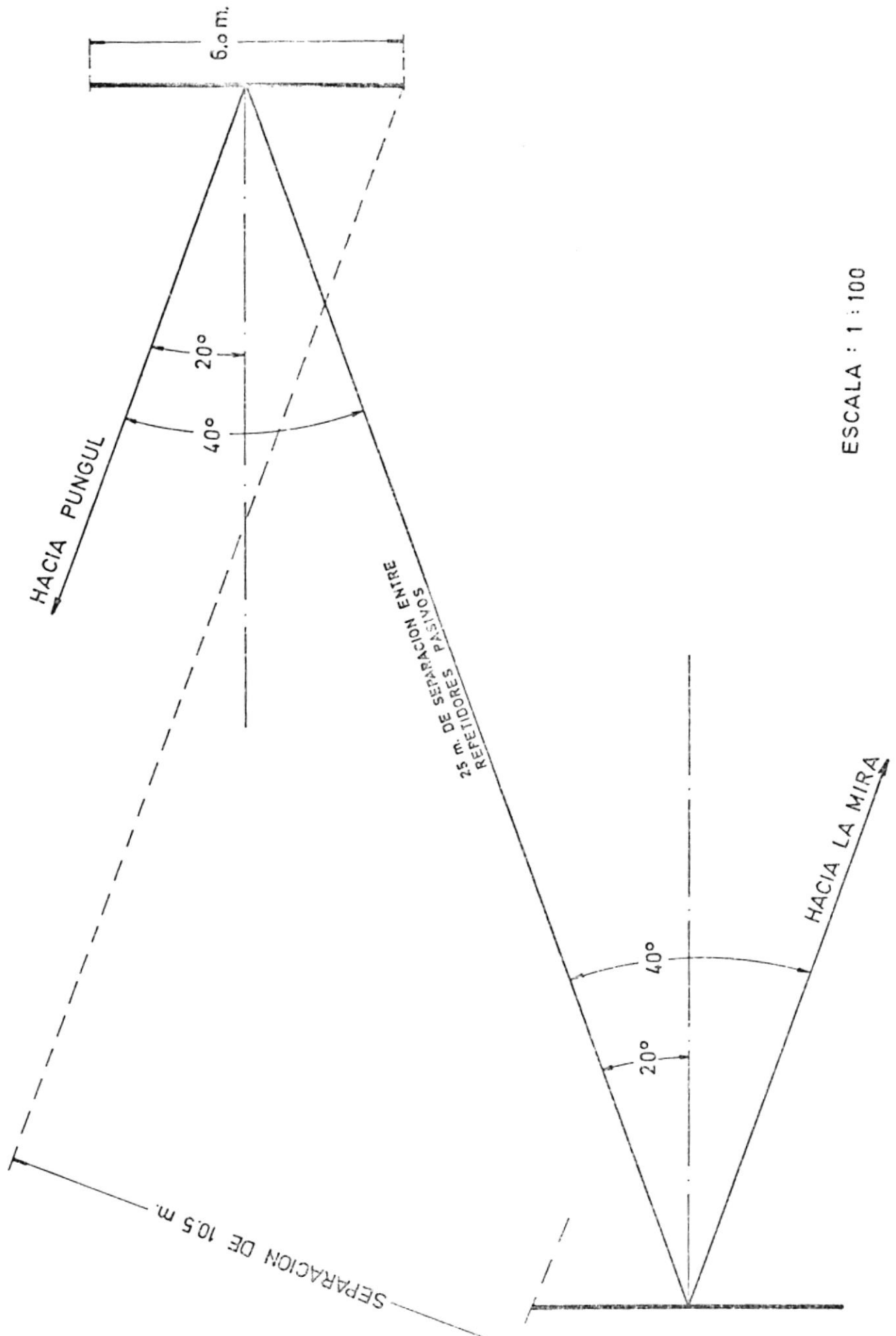
trucción existente a 6.3 km. de la estación La Mira y 29.95 km. de la estación Punzul en el sitio cuyas coordenadas geográficas son $01^{\circ} 31' 34''$ de latitud sur y $78^{\circ} 38' 6.5''$ de longitud oeste.

El área de estos reflectores ha sido determinada considerando fundamentalmente tanto las condiciones topográficas, como atmosféricas del sitio, obteniéndose un área real de 30 m^2 ($4.87 \times 6.09 \text{ m}$) para cada espejo (ver modelo 1620-15 de la compañía Microflect para repetidores pasivos, figura X.3). Conociendo que el obstáculo se encuentra dentro de la línea que une las dos estaciones, La Mira y Punzul, el ángulo de transferencia ψ es igual a cero ($\psi = 0$), de aquí que la configuración de doble repetidor será como el que se muestra en la figura X.4 parte a, donde los ángulos horizontales A y B son iguales ($A = B$).

El valor de estos ángulos dependen de la separación de los repetidores y del ancho de ellos. Para el primero se ha determinado de acuerdo a las características del terreno y para fácil instalación de los repetidores, una separación de 25 metros entre espejos, los cuales tienen un ancho de 6.09 metros de acuerdo a las dimensiones del reflector seleccionado anteriormente.

Para estos valores de 6.09 metros de ancho de espejos, 25 metros de separación entre ellos y un ángulo horizontal de $A = 2\alpha = 16^\circ$, se tiene una distancia de separación entre el límite de la señal que es reflejada por cualquier espejo y el adyacente reflector de 0.6 metros, valor que no supera el margen de separación de $15\lambda = 0.66$ metros; de aquí que debemos aumentar el valor del ángulo horizontal. Como al incrementar el ángulo horizontal disminuye el área efectiva del reflector y en consecuencia, su ganancia se considera este factor de reducción $\cos \alpha$ (ver ecuación X.2), entre el valor mínimo del ángulo que es aproximadamente $\alpha = 8^\circ$ y el necesario. Así pues, para un ángulo de $\alpha = 20^\circ$ que es más conveniente de acuerdo a las características del terreno donde serán ubicados los reflectores, su factor de reducción de ganancia comparado con el mínimo ángulo ($\alpha = 8^\circ$) es 0.45 decibeles, valor no significativo para el cálculo de la atenuación total del trayecto.

Entonces la distancia de separación entre el límite de la señal que es reflejada por un espejo y el adyacente, para: 25 metros de separación entre espejos, 6.09 metros de ancho de reflector y $\alpha = 20^\circ$, es de 10.5 metros (ver figura X.7), valor mucho mayor a $15\lambda = 0.66$ metros calculados anteriormente, el cual si fuera considerado en el diseño, determina distorsión y pérdida de la señal transferida.



ESCALA : 1 : 100

Figure X.7

Cálculo de altura de antenas en el Traveso La Mira. Repetidor Pasivo I

En el diagrama de perfil figura X.3 de este tramo de 6.3 km. de longitud, trazado para $K = 4/3$, se puede determinar que el primer elipsoide de Fresnel se encuentra libre de obstrucciones.

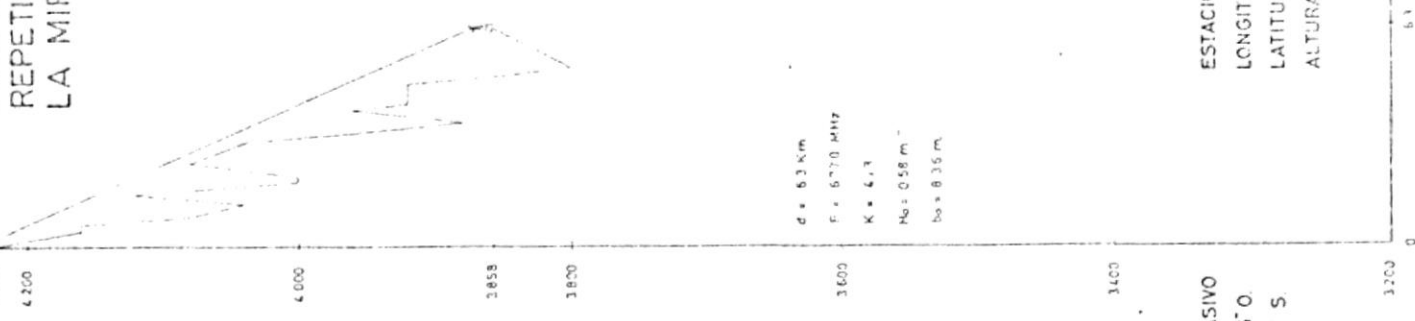
Como se puede apreciar en la figura X.3, a 2.4 km. del repetidor pasivo I, existe una elevación de 4080 metros que está cerca del límite de la primera zona de Fresnel y que al variar el valor de K podría obstaculizar parte de la mencionada zona, entonces, por ello se verifica la condición de TRAYECTO LIBRE y las alturas óptimas de antena:

Para $K = 4/3$ con las alturas de:

h_1	=	4779 m	altura del repetidor pasivo I
h_2	=	3358 m	altura de la estación La Mira
h_s	=	4080 m	altura de la obstrucción
d	=	6.3 km	

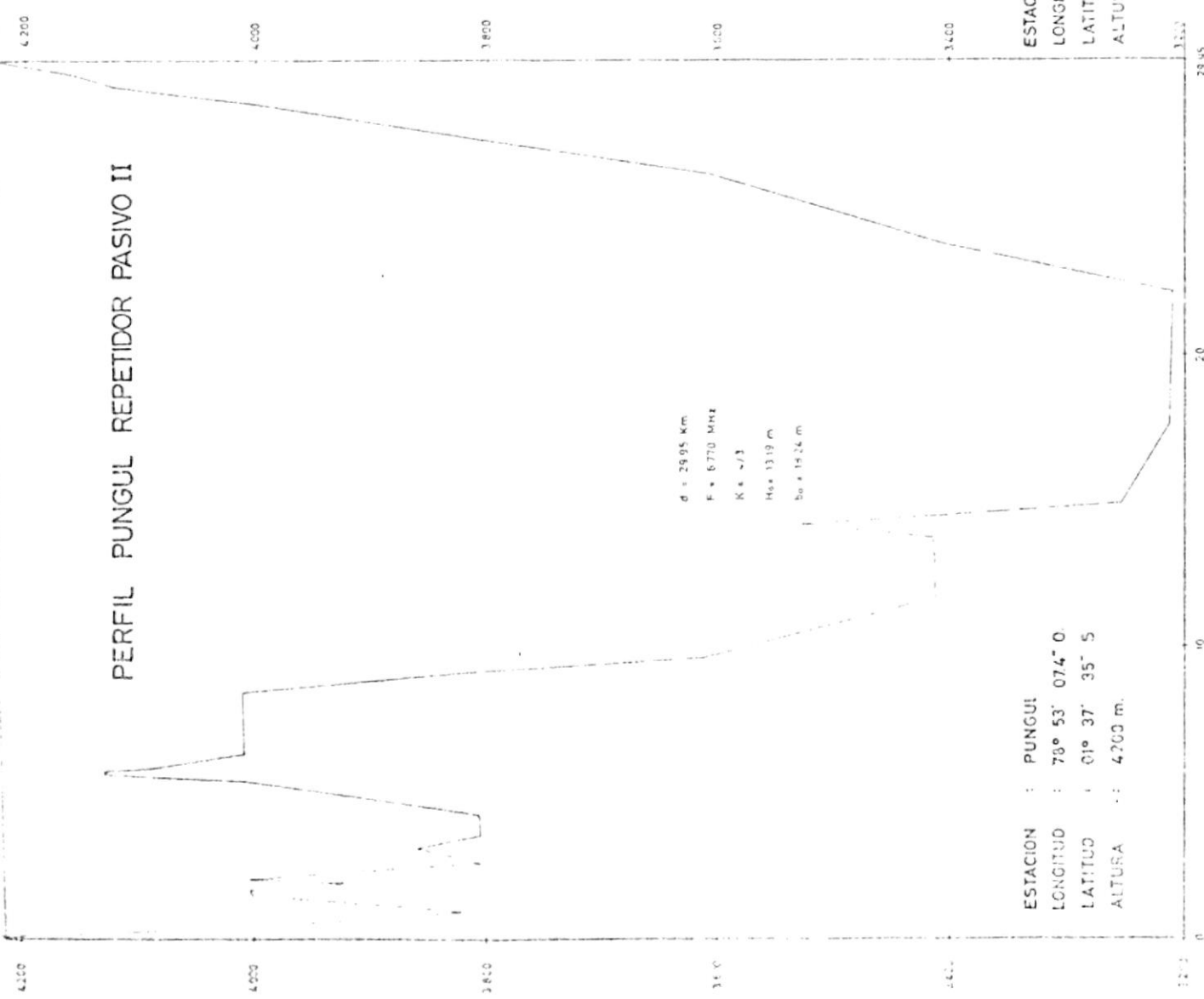
y el obstáculo ubicado a 2.4 km. del RPI (d_1) y 3.9 km de la estación La Mira (d_2) podemos determinar si este penetra en la primera zona de Fresnel.

REPETIDOR PASIVO I
LA MIRA



ESTACION : LA MIRA
 LONGITUD : 78° 35' 00" O.
 LATITUD : 01° 20' 20" S.
 ALTURA : 3858 m.

PERFIL PUNGUL REPETIDOR PASIVO II



ESTACION : PUNGUL
 LONGITUD : 78° 53' 07.4" O.
 LATITUD : 01° 37' 35" S.
 ALTURA : 4229 m.

ESTACION : REPETIDOR PASIVO
 LONGITUD : 78° 38' 06.5" O.
 LATITUD : 01° 31' 34" S.
 ALTURA : 4229 m.

d = 5.3 Km
 F = 5770 MMZ
 K = 4.3
 Hs = 0.58 m
 bs = 0.35 m

d = 29.95 Km
 F = 5770 MMZ
 K = 4.3
 Hs = 13.19 m
 bs = 14.14 m

De acuerdo a la ecuación (IV.10) el margen sobre obstáculo es:

$$h_c = 4229 - \frac{2.4}{6.3} (4229 - 3858) - \frac{2.4 \times 3.9}{7 \times \left(\frac{4}{3}\right) \times 6.37} = 4080$$

$$h_c = 7.11 \text{ metros}$$

El radio de la primera zona de Fresnel en ese punto es:

$$b = 17.3 \sqrt{\frac{2.4 \times 3.9}{6.77 \times 6.3}} = 8.1 \text{ metros}$$

Como $b = 8.1 \text{ m} > h_c = 7.11 \text{ m}$, hay obstrucción.

Para superar esta obstrucción, se debe determinar la altura necesaria de antenas, tanto de la Mira, como para el RPI. Para esta última, de acuerdo a las características técnicas del reflector seleccionado anteriormente - Modelo 1620 - 15 de la compañía Microflect, la altura de torre es de 7 metros ($E = 23$ pies, ver figura X.3), y para la Mira, una altura de 15 metros (ver tabla IV.17) con estos valores de:

$$\begin{aligned} h_1 &= 4229 \text{ m (altura de elevación)} + 7 \text{ m (altura de RPI).} \\ &= 4236 \text{ metros} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= 3858 \text{ m (altura de elevación)} + 15 \text{ m (altura de torre).} \\ &= 3873 \text{ metros.} \end{aligned}$$

Para $K = 4/3$:

$$h_c = 4236 - \frac{2.4}{6.3} (4236 - 3373) - \frac{2.4 \times 3.9}{2 \times \left(\frac{4}{3}\right) \times 6.37} - 4080$$

$$h_c = 17.16 \text{ metros}$$

Para $K = 2/3$:

$$h_c = 4236 - \frac{2.4}{6.3} (4236 - 3373) - \frac{2.4 \times 3.9}{2 \times \left(\frac{2}{3}\right) \times 6.37} - 4080$$

$$h_c = 16.61 \text{ metros}$$

Se tiene que:

$$\text{Para } K = 4/3 \quad h_c = 17.16 \text{ metros} > b = 3.1 \text{ metros}$$

$$\text{Para } K = 2/3 \quad h_c = 16.61 \text{ metros} > \frac{2b}{3} = 5.4 \text{ metros}$$

Lo cual nos verifica la condición de trayecto libre.

Cálculo de altura de antenas en el Trayecto Repetidor Pasivo

II - Punzul

En el diagrama de perfil de este trayecto, figura K.8, que tiene una longitud de 29.95 km., la primera zona de Fresnel se presenta libre de obstáculos, obteniéndose un margen

(h_c) suficientemente grande para tener la condición necesaria de trayecto libre aunque hubieran variaciones del valor de K. Al no existir restricciones de este tipo, se tomará para efectos de cálculo 15 metros de altura de torre en la estación Pungul y 7 metros de altura del Repetidor Pasivo II (Modelo 1620-15 de la compañía Microflect)

Cálculo del área efectiva y rumbo de los Repetidores Pasivos

Cuando un frente de microondas encuentra una superficie metálica lisa, tal como un repetidor pasivo y las dimensiones lineales de este son grandes con respecto a las longitudes de onda de radiación, especiales reflexiones toman lugar en él. Una característica principal de esta reflexión de acuerdo con la ley de Snell, es que el ángulo de incidencia y reflejado son iguales y coplanares.

Expresado de otra manera, la ley incluye los dos siguientes requerimientos:

- 1.- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal de la superficie reflectora, están en el mismo plano.
- 2.- El rayo incidente y reflejado tienen iguales ángulos con la normal.

La figura X.9, ilustra los ángulos que permiten calcular tanto el área efectiva (ver figura X.5), como el rumbo de un repetidor pasivo. Mediante consideraciones matemáticas desde esta figura X.9, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\cos (c/2) = \frac{\text{Sen } \theta_1 + \text{Sen } \theta_2}{2 \text{ Sen } \theta_3} \quad (\text{X.4})$$

donde:

θ_1 = es el ángulo vertical más pequeño.

θ_2 = es el ángulo vertical menor.

θ_3 = es el ángulo vertical de superficie del repetidor.

θ_1 y θ_2 pueden ser medidos en el sitio o calculados según las siguientes relaciones:

$$e = \text{tg}^{-1} \frac{h_p - (h_a - C)}{d} \quad (\text{X.5})$$

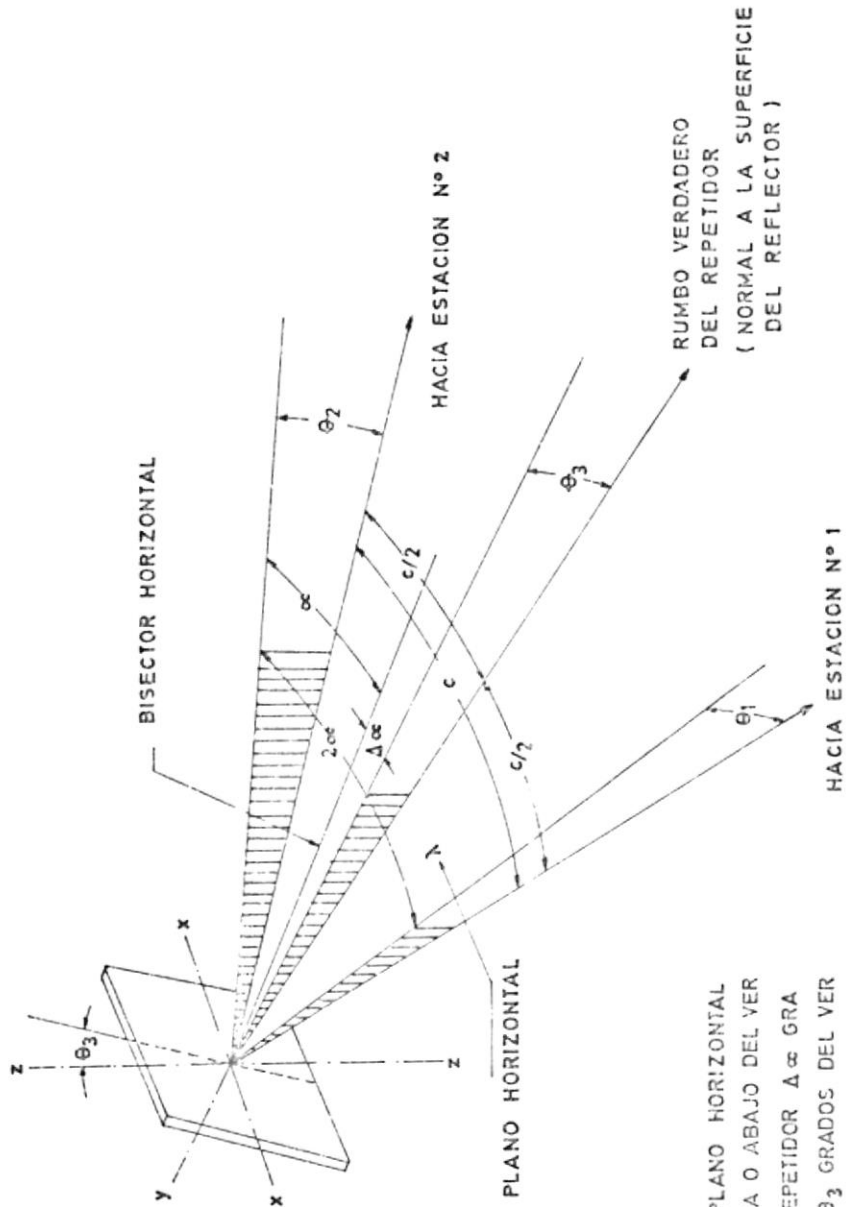
$$C = \frac{d^2}{12.75} \quad (\text{X.6})$$

donde:

h_p = elevación del repetidor pasivo en m.

h_a = elevación de antena de la estación en m.

C = corrección de la curvatura de la tierra en m.



EL EJE Y SOBRE EL PLANO HORIZONTAL
 (LA POSICION ES ARRIBA O ABAJO DEL VER
 DADERO RUMBO DEL REPETIDOR $\Delta\alpha$ GRA
 DOS DEL BISECTOR Y θ_3 GRADOS DEL VER
 DADERO RUMBO).

2α , α , $\Delta\alpha$ ESTAN SOBRE EL PLANO HORI
 ZONTAL.

θ_1 , θ_2 MEDIDOS ARRIBA O ABAJO DEL HORI
 ZONTAL.

c ES EL ANGULO VERDADERO ENTRE EL
 RAYO INCIDENTE Y EL REFLEJADO.

d = longitud del trayecto en m.

θ_3 , es calculado de las siguientes ecuaciones:

$$tg \Delta\alpha = \frac{(tg \alpha) (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{(\cos \theta_1 + \cos \theta_2)} \quad (X.7)$$

$$tg \theta_3 = \frac{(\cos \Delta\alpha) (\text{Sen } \theta_1 + \text{Sen } \theta_2)}{(\cos \alpha) (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)} \quad (X.8)$$

NOTA: Todos los cosenos serán positivos, y los senos son positivos, cuando el ángulo del reflector está bajo la horizontal y negativo cuando está arriba.

Entonces, aplicando las relaciones anteriores para el cálculo del área efectiva y rumbo de los repetidores pasivos I y II, tenemos:

Repetidor Pasivo I

Altura RPI	$h_p = 4236$ m. snm.
Altura La Mira	$h_a = 3873$ m. snm.
Distancia	$d = 6.3$ km.

Según (X.6) y (X.5)

$$C = \frac{(6.3)^2}{12.75} = 3.113 \text{ m.}$$

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{4236 - 3873 + 3.113}{6300} = 3.33^\circ$$

Siendo $\theta_2 = 3.33^\circ$ el ángulo vertical descendente o hacia abajo con dirección hacia Mira.

Por estar los dos reflectores situados sobre el mismo plano horizontal, debido a que las cotas de elevación de ellos son iguales, el ángulo vertical es: $\theta_1 = 0^\circ$. La superficie del reflector es entonces orientada de acuerdo con el valor del ángulo θ_3 y la corrección del ángulo horizontal $\Delta\alpha$ según ecuaciones (X.7) y (X.8), se tiene que:

Según:

$$\alpha = 20^\circ \quad (\text{ver figura X.7})$$

$$\theta_2 = 3.33^\circ$$

$$\theta_1 = 0^\circ$$

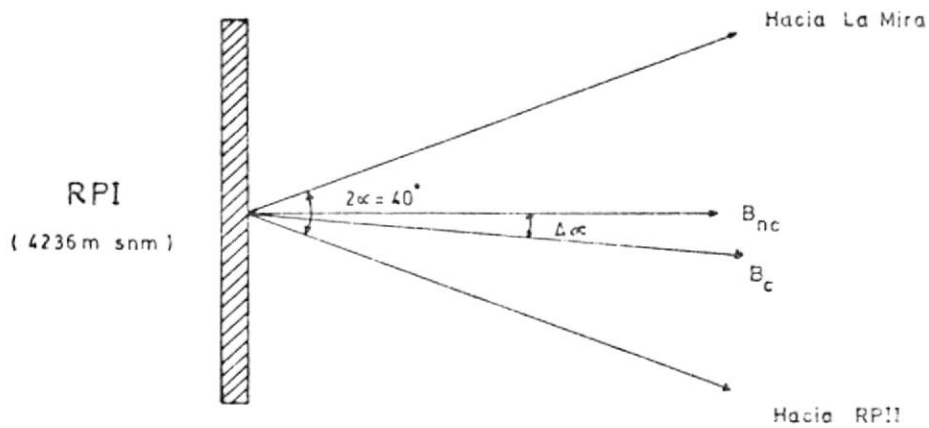
Para:

$$\text{tg } \Delta\alpha = \text{tg } (20^\circ) \frac{\cos 0^\circ - \cos 3.33^\circ}{\cos 0^\circ + \cos 3.33^\circ} = 0.00031$$

$$\Delta\alpha = 0.018^\circ = 00^\circ 01' 04.8''$$

Siendo $\Delta\alpha$ la desviación, hacia la estación menos inclinada de la biceatriz no corregida, en este caso hacia el PR1
 O sea que el rumbo verdadero del PR1 es $B_c = 20^{\circ} 01' 04.8''$, y sus ángulos relativos son:

$$\text{Ángulos relativos} \begin{cases} H = 0^{\circ} \\ V = 93.33^{\circ} \\ \theta_2 = 3.33^{\circ} \end{cases}$$



$$\text{Ángulos relativos} \begin{cases} H = 40^{\circ} \\ V = 90^{\circ} \\ \theta_1 = 0^{\circ} \end{cases}$$

Repetidor Pasivo II

Altura RPII	$h_p = 4236 \text{ m. snm.}$
Altura Puntos	$h_a = 4216 \text{ m. snm.}$
Distancia	$d = 29.95 \text{ km.}$
Angulo horizontal	$\alpha = 40^\circ$

$$A_{e1} = 30 \times 0.94 = 28.2 \text{ m}^2$$

$$\cos(c/2) = \frac{\text{sen } 0^\circ + \text{sen } 3.33^\circ}{2 \text{ sen } 1.772} = 0.94$$

es:

De acuerdo a las dimensiones del reflector seleccionado anteriormente, el área es de aproximadamente 30 m^2 , considerando esta superficie para este cálculo y el siguiente, tenemos que el área efectiva según las relaciones (X.4) y (X.3)

$$\theta_3 = 1.772^\circ = 01^\circ 46' 19''$$

$$\text{tr } \theta_3 = \frac{\cos 0.018^\circ \text{ sen } 0^\circ + \text{sen } 3.33^\circ}{\cos 20^\circ \text{ cos } 0^\circ + \text{cos } 3.33^\circ} = 0.03094$$

Para θ_3 :

El ángulo vertical θ_1 , cumple la misma condición que el ángulo vertical θ_1 del RPI o sea $\theta_1 = 0^\circ$.

$$C = \frac{(29.95)^2}{12.75} = 70.353 \text{ m.}$$

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{4236 - 4216 + 70.353}{29950} = 0.175^\circ$$

Siendo $\theta_2 = 0.175^\circ$ el ángulo vertical descendente con dirección hacia la estación Punent. Reemplazando los valores anteriormente calculados en (X.7) y (X.8), se tiene:

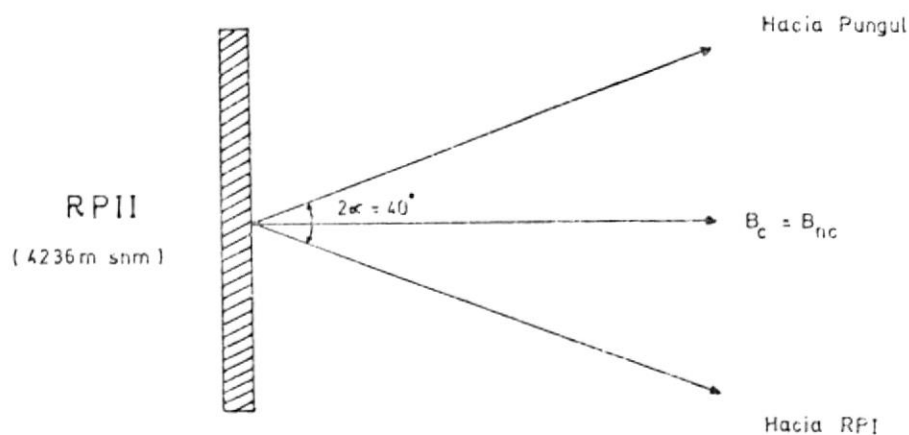
Para $\Delta\alpha$:

$$\text{tg } \Delta\alpha = \text{tg } 20^\circ \frac{\cos 0^\circ - \cos 0.175^\circ}{\cos 0^\circ + \cos 0.175^\circ} = 0$$

$$\Delta\alpha = 0^\circ$$

Como $\Delta\alpha = 0^\circ$, no hay desviación de la bisectriz, siendo entonces el rumbo del RPII hacia RPI, 20° ; sus ángulos relativos son:

$$\text{Angulos relativos} \begin{cases} H = 0^\circ \\ V = 90.175^\circ \\ \theta_2 = 0.175^\circ \end{cases}$$



$$\text{Angulos relativos} \begin{cases} H = 40^\circ \\ V = 90^\circ \\ \theta_1 = 0^\circ \end{cases}$$

Para θ_3 :

$$\text{tg } \theta_3 = \frac{\cos 0^\circ}{\cos 20^\circ} \frac{\text{Sen } 0^\circ + \text{Sen } 0.175^\circ}{\cos 0^\circ + \cos 0.175^\circ} = 0.00162$$

$$\theta_3 = 0.093^\circ = 00^\circ 05' 35''$$

Según (X.4) y (X.3), el área efectiva del Repetidor Pasivo RPII es:

$$\cos (c/2) = \frac{\text{Sen } 0^\circ + \text{Sen } 0.175^\circ}{2 \text{ Sen } 0.093^\circ} = 0.94$$

$$A_{e_2} = 30 \times 0.94 = 28.2 \text{ m}^2$$

Pérdidas totales de transmisión Trayecto La Mira - Pungul

Para este caso, en que el trayecto se apoya en un doble repetidor pasivo, la atenuación total A_t entre los terminales de salida del transmisor en un lado y los terminales de entrada del receptor en el otro lado; se obtiene de la siguiente relación:

Para el campo lejano:

$$A_t = A_o + A_f + A_c + A_d - G_T - G_R - G_p \quad (X.9)$$

en donde:

$$A_o = A_1 + A_2 + A_p \quad (X.10)$$

A_o = Atenuación en el espacio libre o pérdidas básicas totales de transmisión.

A_1, A_2 = Pérdidas o atenuaciones de espacio libre entre terminales y repetidores.

A_p = Ganancia o pérdida del repetidor pasivo pequeño colocando ambos repetidores en doble configuración.

A_f = Pérdida en los alimentadores de antena.

A_c = Pérdidas en filtros y circuladores de acoplamiento.
 A_d = Margen para desvanecimiento.
 G_T, G_R = Ganancias de las antenas de transmisión y recepción
 G_p = Ganancia de un solo RP o del más pequeño, en doble configuración.

a.- Cálculo de la atenuación de espacio libre del trayecto

La Mira - Puncul. (ver Figura X.6)

1.- Tramo La Mira - RPI

$$\begin{aligned}
 d_1 &= 6.3 \text{ km.} \\
 f &= 6770 \text{ MHz} \\
 \lambda &= 0.0443 \text{ m.} \\
 A_{e1} &= 28.2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Evaluando el factor $1/k$ según (X.1) para determinar si el RPI está en el campo cercano o lejano de la estación La Mira, tenemos:

$$1/k = \frac{4 \times 28.2}{\pi \times 0.0443 \times 6300} = 7.77$$

como:

$$1/k = 7.77 > 2.5$$

RPI está en el campo lejano

Condición de mayor exigencia para el diseño, ya que las atenuaciones de espacio libre aumentan, de aquí que, con el RPI en el campo lejano de la antena, las pérdidas de espacio libre del tramo serán:

$$A_1 = 92.4 + 20 \log 6.3 + 20 \log 6.77 = 125 \text{ dB}$$

2.- Tramo RPI - RPII

Estos repetidores pasivos están en el campo cercano, uno de otro (ver figura X.10, curvas de eficiencia de dobles repeticiones pasivos).

$$\begin{aligned} d_2 &= 25 \text{ m.} \\ \lambda &= 0.0443 \text{ m.} \\ a_2 &= A_{c1} = 28.2 \text{ m}^2 \\ b_2 &= A_{c2} = 28.2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

calculando:

$$\sqrt{\frac{b_2}{a_2}} = \sqrt{\frac{28.2}{28.2}} = 1$$

$$1/k^2 = \frac{28.2}{2 \times 0.0443 \times 25} = 0.08$$

Como el valor de $1/k^2$, es menor que 0.1, la pérdida por acoplamiento entre los dos repetidores, es aproximadamente de 1 dB ($A_p = 1$ dB).

3.- Tramo PPII - Pungul

$$d_3 = 29.95 \text{ km}$$

$$f = 6770 \text{ MHz}$$

de donde la atenuación de espacio libre es:

$$A_2 = 133.54 \text{ dB}$$

Aplicando (X.10), se tiene la atenuación total de espacio libre del trayecto La Mira - Pungul.

$$A_0 = 125 + 133.54 + 1 = 264.54 \text{ dB}$$

Ganancia de los repetidores pasivos

Considerando el más pequeño de ellos y según la ecuación (A.2), tenemos:

$$G_p = 20 \log \frac{4\pi \times 30}{(0.0443)^2} \cos 20^\circ = 105.13 \text{ dB}$$

Atenuación total del trayecto La Mira - Pungul

Con los siguientes valores y aplicando la ecuación (X.9) tenemos:

$$A_O = 264.54 \text{ dB}$$

$$A_F = 1.83 \text{ dB}$$

$$A_C = 3.60 \text{ dB}$$

$$G_I = 46.50 \text{ dB}$$

$$G_R = 46.50 \text{ dB}$$

$$G_P = 97.89 \text{ dB}$$

$$A_t = 264.54 + 1.83 + 3.60 - 46.5 - 46.5 - 105.13 = 71.39 \text{ dB}$$

Considerando el valor anterior, y con una potencia de transmisión de 5 vatios (37 dBm) para este trayecto, el nivel de señal útil en recepción es de - 34.39 dBm.

En el esquema general de la ruta alternativa tabla X.1, se han detallado los valores o parámetros calculados que servirán de referencia para el cálculo del ruido total. Al igual que en la red troncal se ha estimado en cada trayecto de esta ruta alternativa, una reserva de desvanecimiento de 6 dB para el cálculo de la potencia de ruido a la entrada del receptor.

Según la tabla X.2, la probabilidad de interrupción en cada trayecto de esta ruta alternativa, con excepción de Cochabamba - Guayaquil, son menores o mínimos, comparados con el valor objetivo, teniendo que la probabilidad total de interrupción de esta ruta es $123.08 \times 10^{-4}\%$, porcentaje mayor al valor objetivo ($111.06 \times 10^{-4}\%$).

Considerando lo últimamente mencionado, y de que el trayecto Cochabamba - Guayaquil, tiene un porcentaje de probabilidad de interrupción mayor al objetivo, se sugiere en este tramo una protección en diversidad de frecuencia.

La tabla X.3, indica además de la potencia de ruido total de esta ruta alternativa, las diferentes clases de ruido según los valores anotados en la tabla X.1 y la consideración de que esta red tendrá 2 etapas de modulación - demodulación, Guayaquil - Quito y Pungul, para interconectar en BB desde esta última estación a la población de Guaranda (ver figura X.11).

Finalmente, se puede observar que el valor de 353.9 pa. es menor que el valor de 1123.1 pa., por ello el comportamiento del ruido total de esta ruta alternativa es satisfactorio.

CURVAS DE EFICIENCIAS PARA DOBLE REPETIDORES PASIVOS

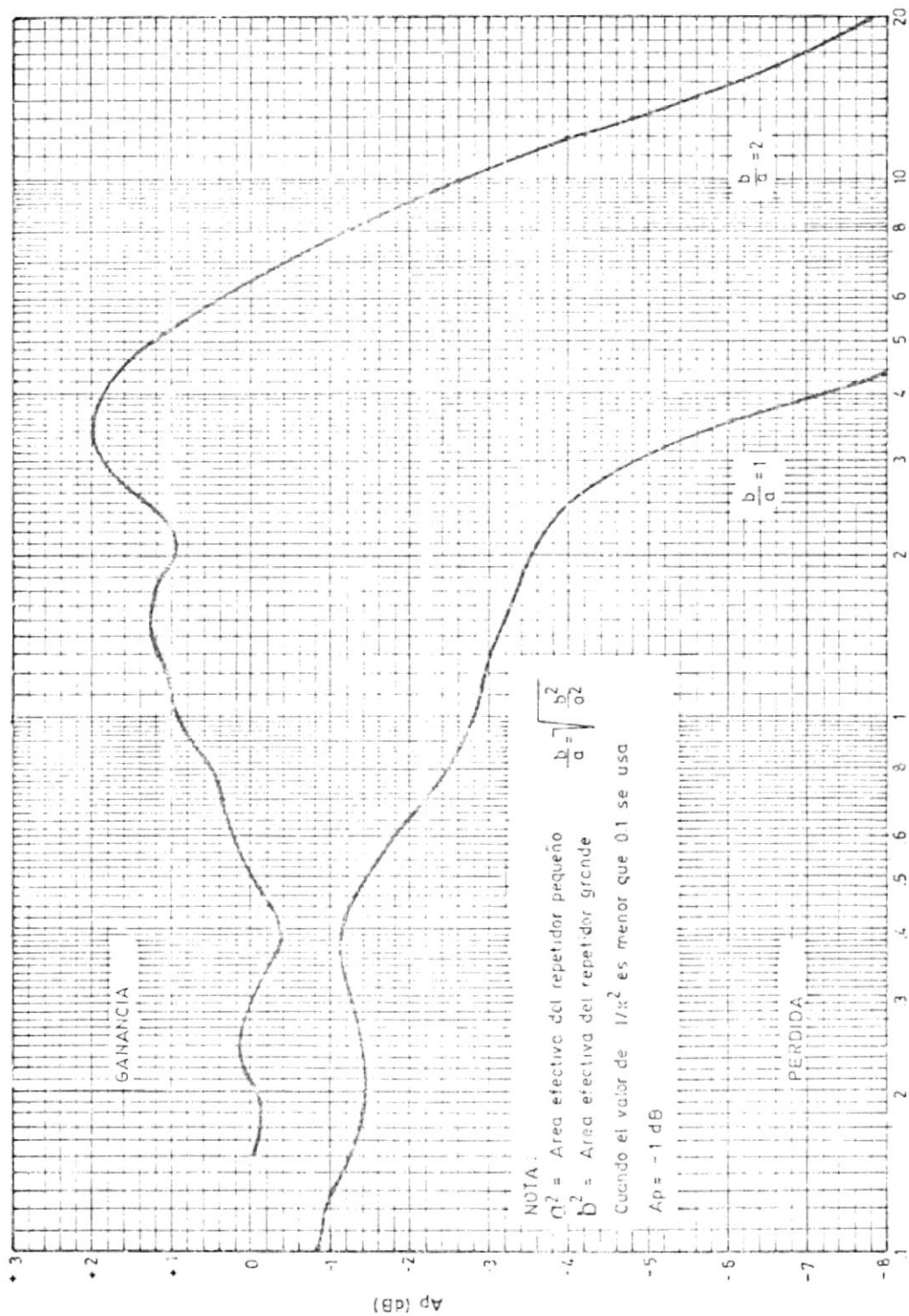


Figura X.10

TABLA X.1

ESQUEMA GENERAL DE LA RUTA ALTERNATIVA

		RUIDO TERMICO EN CADA TRAYECTO									
TRAYECTO		I		II		III		IV		V	
ESTACION		SAN JUAN		CHASQUI		MIRA		PUNGUL		COCHABAMBA GUAYAQUIL	
ELEVACION	m	2980	3500	3858	4200	2950	90				
DISTANCIA	Km	4625	9830	VER FIGURA X 6	2610	100.8					
DIAMETRO DE ANTENAS	m	2.4	3.3	4.0	4.0	1.2	3.3	3.3	4.0		
ALTURA DE TORRE	m	10	4.0	15	15	15	10	10	25		
LONGITUD DE GUIA - ONDA	m	20	50	25	20	15	15	15	15		
ATENUACION DE ESPACIO LIBRE	dB	142.30	148.86	264.54	137.34	149.03					
ATENUACION GUIA - ONDA	dB	0.94	2.35	1.18	0.94	0.71	0.71	0.71	0.71		
GANANCIA DE ANTENAS	dB	41.6	44.3	46.5	46.5	35.5	44.3	44.3	46.5		
ATENUACION TOTAL	dB	63.29	62.99	71.89	62.79	63.30					
POTENCIA UTIL EN RECEPCION	dBm	-35.49	-35.19	-34.89	-34.99	-35.50					
S/N DEL RECEPTOR SIN DESVANECIMIENTO	dB	77.14	77.44	77.74	77.64	77.13					
POTENCIA DE RUIDO SIN DESVANECIMIENTO	Pw	19.3	18.0	16.8	17.2	19.4					
S/N DEL RECEPTOR CON 6 dB DE DESVANECIMIENTO	dB	71.14	71.44	71.74	71.64	71.13					
POTENCIA DE RUIDO CON 6 dB DE DESVANECIMIENTO	Pw	76.91	71.78	66.99	68.55	77.09					

TABLA X. 2

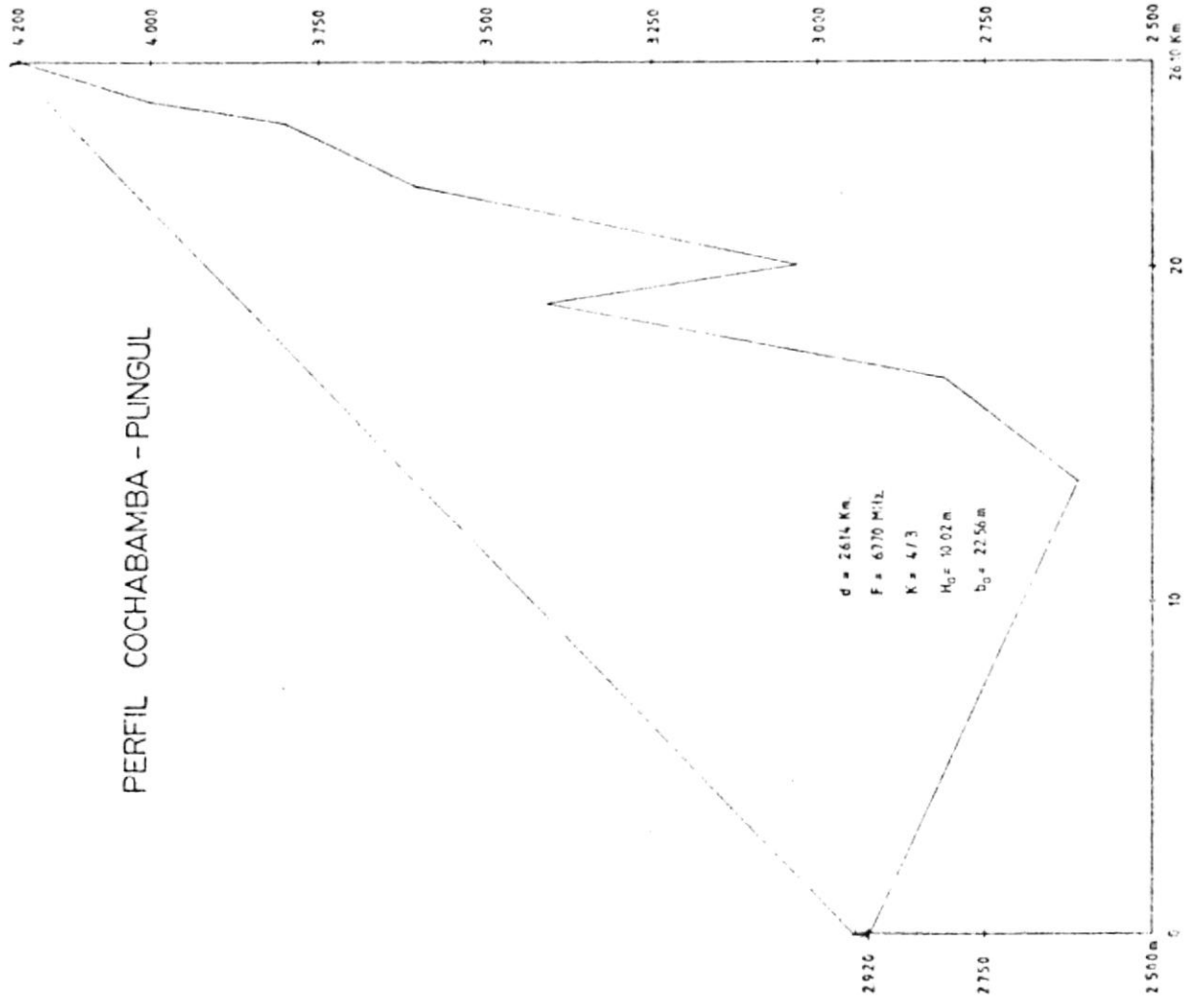
PROBABILIDAD DE DESVANECIMIENTO RUTA ALTERNATIVA											
TRAYECTO		I		II		III		IV		V	
ESTACION		SAN JUAN		CHASQUI		MIRA		PUNGUL		COCHABAMBA GUAYAQUIL	
ZONA DE PROPAGACION	-----	AREA MONTAÑOSA		AREA MONTAÑOSA		AREA MONTAÑOSA		AREA MONTAÑOSA		LLANURA	
DISTANCIA	Km	46.25		98.30		36.25		26.10		100.8	
POTENCIA DE RUIDO TERMICO SIN DESVANECIMIENTO	Pw	19.3		18.0		16.8		17.2		19.4	
PROBABILIDAD DE DESVANECIMIENTO	%	0.258		3.612		0.110		0.035		9.861	
PROBABILIDAD DE INTERRUPCION	(10 ⁻⁴ %)	2.10		27.38		0.78		0.25		80.55	
VALOR OBJETIVO POR TRAYECTO*	(10 ⁻⁴ %)	18.50		39.32		14.50		10.44		40.32	
VALOR OBJETIVO TOTAL [†]	(10 ⁻⁴ %)	123.08									

TABLA X.3

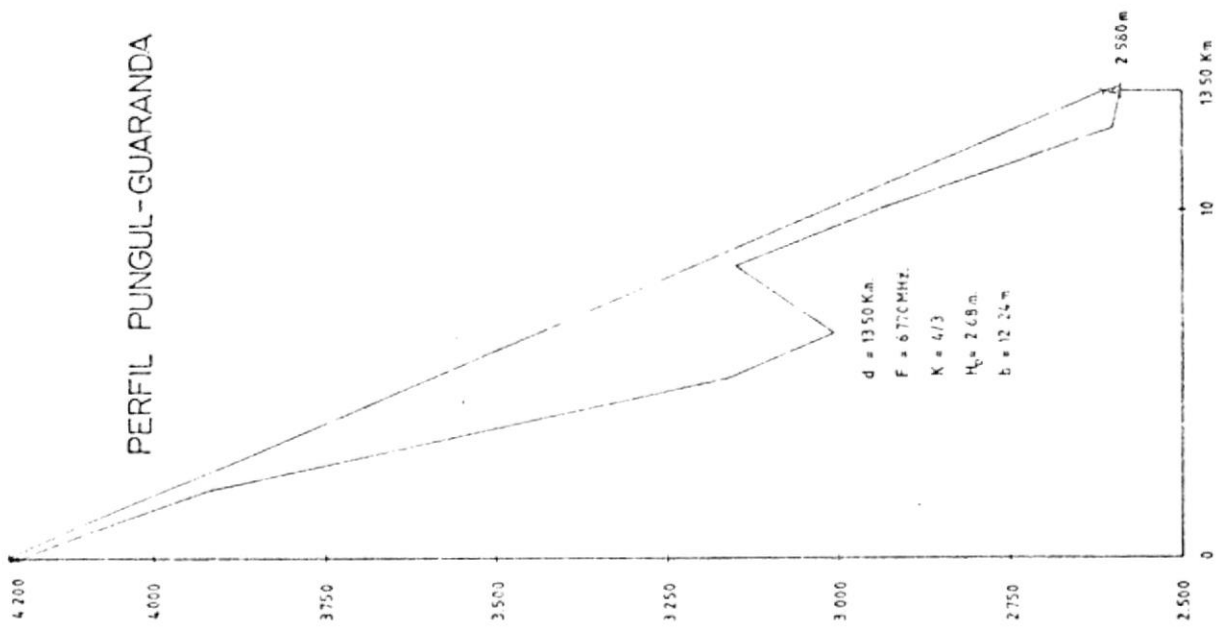
DISTRIBUCION DEL RUIDO TOTAL DEL TRAYECTO SAN JUAN (QUITO) - GUAYAQUIL
 RUTA ALTERNATIVA

DESCRIPCION			CALCULO DE POTENCIA	
RUIDOS BASICOS	POTENCIA DE RUIDO TERMICO EN EL RECEPTOR CON 6 dB DE DESVANECIMIENTO	pW	361.3	
	RUIDO BASICO DEL MODEM (2x20)	pW	40.0	
	RUIDO BASICO IF - RF (5x10)	pW	50.0	
RUIDOS INTERMODULACION	RUIDO DE INTERMODULACION DEL MODEM (2x40)	pW	80.0	
	RUIDO DE INTERMODULACION IF - RF (5x37)	pW	185.0	
RUIDO DE INTERFERENCIA	RUIDO DE INTERFERENCIA DEBIDO A GUIAS DE ONDAS	pW	139.6	
POTENCIA DE RUIDO TOTAL		pW	855.9	
VALOR OBJETIVO	(3L + 200) pW	CCIR Rec. 395	pW	1123.1

PERFIL COCHABAMBA - PUNGUL



PERFIL PUNGUL - GUARANDA



ESTACION : GUARANDA
 LONGITUD : 79° 00' 00" O
 LATITUD : 01° 35' 12" S
 ALTURA : 2580 m

APENDICE A

La figura IV.9, muestra un trayecto en el que una antena emisora T, irradia energía, la cual se desplaza en un frente de onda de radiación secundaria (principio de Huygens - Fresnel), hasta llegar a la antena receptora R. El camino más corto entre las antenas es d , y el ángulo de la señal es 180° . El punto P'_x define un trayecto indirecto cuyo recorrido adicional es de media longitud de onda ($\lambda/2$), si este punto se desplaza por la circunferencia del círculo interior (ver sección A-A figura IV.9), define los trayectos posibles de longitud igual a: $d + \lambda/2$. Este círculo interior se denomina, primera zona de Fresnel, y se puede decir que el límite de esta zona es el lugar geométrico de los puntos desde los cuales la onda, puede reflejarse de modo que recorra media longitud de onda más, para llegar desde la antena transmisora hasta la receptora, en tal forma que:

$$TP'_x + P'_xR = TR + \lambda/2 \quad (A1)$$

ecuación que limita la primera zona de Fresnel.

Los límites de las sucesivas zonas de Fresnel, se representan con puntos que aumentan en múltiplos de media longitud de onda el recorrido reflejado. Por ejemplo, un rayo refleja

do desde cualquier punto en la superficie que define la quinta zona de Fresnel, habrá recorrido una distancia mayor en cinco medias longitudes de onda que la distancia que separa directamente las antenas.

Una superficie reflectora ubicada en el límite de la primera zona de Fresnel, puede duplicar la magnitud de la señal recibida, mientras que otra superficie reflectora situada apenas a pocos decímetros fuera del recorrido directo puede reducir la señal casi a cero. Para comprender mejor este fenómeno, debe recordarse que la onda al ser reflejada, ha experimentado una inversión completa de fase de 180° . Además, la onda reflejada desde el primer límite, ha recorrido media longitud de onda más que la onda directa: esto resulta en otro desplazamiento de fase de 180° , o sea un total de 360° , con el resultado de que las ondas directa y reflejada, se suman directamente. Desde el límite de la segunda zona de Fresnel, en cambio, al llegar a la antena receptora, la onda reflejada habrá recorrido una longitud de onda completa más que la onda directa, y por ello llega retrasada 360° . Este retardo, sumado a la inversión de 180° en la superficie reflectora, puede provocar una cancelación completa de la señal. Estos fenómenos han dado nacimiento a la expresión "efecto de propagación múltiple". La figura IV.9, muestra las cinco primeras zonas de Fresnel en ella se ha graficado una elevación del te

terreno con una superficie plana en su cima (obstáculo 1). Si la altura libre sobre la elevación, es igual al radio de la quinta zona de Fresnel, la llegada de la onda reflejada será retardada tres longitudes de onda detrás del rayo directo y las dos, por lo tanto, se sumarán en fase, determinando un nivel de señal recibida anormalmente alto.

Si la elevación del terreno fuese tal, que provocase una condición de obstrucción o de rasante, como en el caso del obstáculo 2, el nivel de señal recibida disminuiría por lo menos 6 dB, en comparación con los valores que corresponderían a propagación por espacio libre.

Para expresar la relación matemática de la primera zona de Fresnel, consideramos la ecuación A1, la cual puede expresarse de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \sqrt{b_x^2 + d_1^2} + \sqrt{b_x^2 + d_2^2} &= d_1 \sqrt{\left(\frac{b_x}{d_1}\right)^2 + 1} + d_2 \sqrt{\left(\frac{b_x}{d_2}\right)^2 + 1} \\ &= d_1 + d_2 + \frac{\lambda}{2} \end{aligned}$$

como:

$$\left(\frac{b_x}{d_1}\right)^2 \quad \text{y} \quad \left(\frac{b_x}{d_2}\right)^2 \ll 1$$

los radicales pueden ser expandidos en serie (*).

$$d_1 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{b_x^2}{d_1} \right) + d_2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{b_x^2}{d_2} \right) = d_1 + d_2 + \frac{\lambda}{2}$$

$$b_x^2 \left(\frac{1}{2d_1} + \frac{1}{2d_2} \right) = \frac{\lambda}{2}$$

de donde:

$$b_x = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}} \quad (A2)$$

en función de la frecuencia tenemos:

$$b_x = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d \cdot f}}$$

es el semi eje de la primera zona de Fresnel en el punto X.

Las zonas de Fresnel de orden superior están dadas por:

$$b_x(n) = \sqrt{\frac{n d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}} = \sqrt{n} b_x \quad (A3)$$

(*)

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x \quad \text{si } x \ll 1$$

TABLA 1 A.

VALORES PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL

b = semi eje	Distancia desde la mitad a del trayecto hacia los la dos
b_0	$a = d/2$
b_1	$a_1 = 0.25 \quad (1/4 a)$
b_2	$a_2 = 0.5 \quad (1/2 a)$
b_3	$a_3 = 0.75 \quad (3/4 a)$
b_4	$a_4 = 0.875 \quad (7/8 a)$
b_5	$a_5 = 0.9375 \quad (15/16 a)$

APENDICE B

Derivación de la fórmula para el cálculo de la elevación de la tierra en la mitad del trayecto A - B.

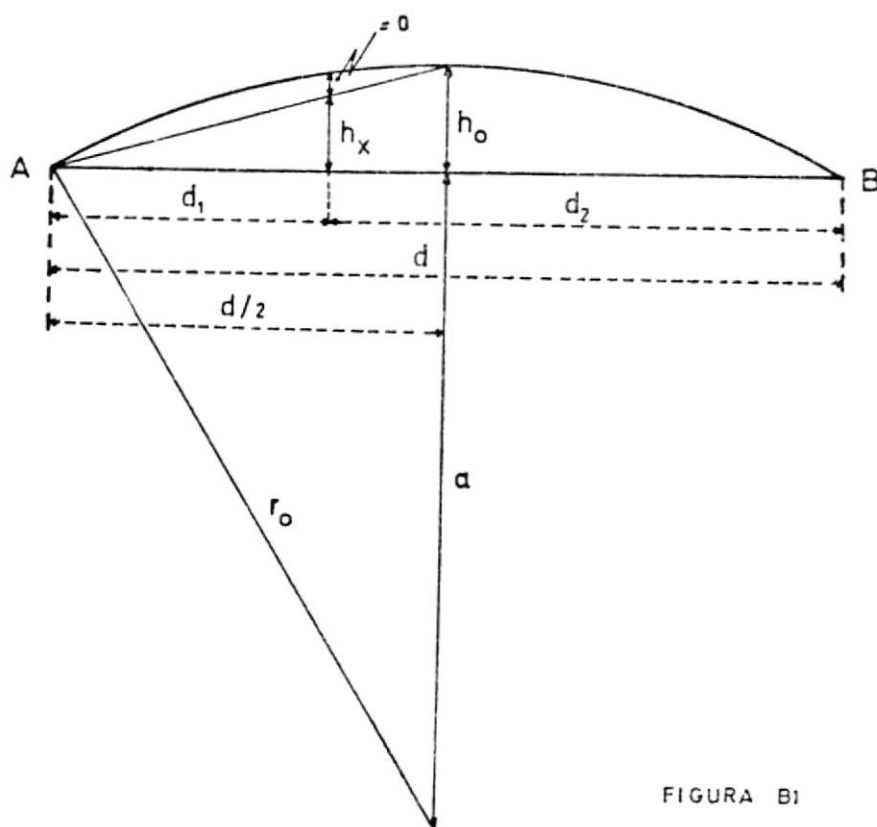


FIGURA B1

h_c = Elevación de la tierra en la mitad del trayecto A - B.

h_x = Elevación de un punto cualquiera del trayecto A - B.

d = Distancia del trayecto A - B.

d_1 = Distancia a h_x desde A.

d_2 = Distancia a h_x desde B.

r_0 = Radio de la tierra ($r_0 = 6.37 \times 10^6$ m.).

Según la figura B1, para encontrar h_o , tenemos:

$$r_o^2 = a^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (B1)$$

$$a = r_o - h_o$$

Reemplazando tenemos a:

$$\begin{aligned} r_o^2 &= (r_o - h_o)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \\ &= r_o^2 - 2 r_o h_o + h_o^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{si } h_o^2 \rightarrow 0 \end{aligned}$$

$$2 r_o h_o = \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$h_o = \frac{d^2}{8 r_o} \quad (B2)$$

Considerando la refracción del haz en la atmósfera interior del trayecto A - B, el radio de la tierra debe ser corregido por un factor K, o sea:

$$R_c \text{ (Radio corregido) } = K \times r_o$$

reemplazando en (B2), tenemos la elevación en la mitad del trayecto:

$$h_o = \frac{d^2}{8 K r_o} \quad (B3)$$

Mediante un análisis similar, podemos calcular la elevación de la tierra (h_x) en un punto cualquiera del trayecto A - B.

$$h_x = \frac{d_1 \times d_2}{2 K r_0} \quad (B4)$$

BIBLIOGRAFIA

- (1) CARTA TOPOGRAFICA. CT-ÑIV-C2 del IGM.
- (2) Mapa índice de hojas topográficas IGM.
- (3) SHIGURU YONEZAWA. Microwave communication. 1973.
- (4) UIT Economic and Technical aspects of the choice of transmission systems.
- (5) NTT PUBLIC CORPORATION. Microwave communication engineering, volumen GR73 - No.4.
- (6) WEIBEL, J.E. Y DRESSEL, H.O. Propagation studies in millimetrewave link systems - 1967.
- (7) UIT-CCIR. Informe 338-3 Volumen V, Kyoto 1978.
- (8) LM ERICSSON. Systems value of radio relay equipment. 1976.



