

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACION  
DE UN SISTEMA DE RELEVADORES RADIOELECTRICOS  
PARA LA RECEPCION DE LA SEÑAL DE TV DEL  
CANAL 8 DE QUITO EN LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA Y SUS ALREDEDORES

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

CESAR A. LARA P.

QUITO

Agosto de 1972

Certifico que este trabajo ha  
sido realizado en su totalidad  
por el Sr. César A. Lara P.



Ing. Hugo G. Ruiz Coral  
CONSULTOR DE TESIS

Quito, Agosto de 1972

A MIS PADRES

## P R O L O G O

Durante mis primeros años de vida profesional, en la Dirección Nacional de Frecuencias, comprendí que era de importancia, la realización de un tema de tesis de aplicación práctica y de acuerdo a las necesidades técnicas de nuestro país, esta fue la razón que me impulsó a elaborar la presente tesis.

Deseo expresar mi profunda gratitud a todas aquellas personas que en una u otra forma han colaborado para la realización de este trabajo. En especial al Ing. Hugo Ruiz, quién contribuyó decididamente a la elección del tema y realización de este trabajo.

César A. Lara P.

Quito, Agosto de 1972

## I N D I C E G E N E R A L

	Página
PROLOGO	IV
INTRODUCCION	1
Capítulo Primero: PROPAGACION EN EL RANGO DE VHF	5
1.1    Pérdidas del espacio libre	7
1.2    Trayectos de las ondas troposféricas	12
1.3    Propagación con obstáculo en el trayecto	24
1.3.1    Consideraciones generales	25
1.3.2    Pasos para planificación de la ganancia por obstáculo	27
1.3.3    Estudios preliminares del trayecto	28
1.3.4    Preparación de perfiles	29
1.3.5    Pérdidas de propagación cuando existe obstáculo	32
Capítulo Segundo: PERFILES ALTIMETRICOS DE LAS RUTAS	34
2.1    Generalidades	35
2.2    Investigaciones de campo	36
2.3    Datos de los posibles sitios	38
2.4    Consideraciones sobre la curvatura de la tierra	44
2.4.1    Radio efectivo de la tierra	46
2.5    Preparación y examinación de los perfiles de la ruta	47

2.5.1	Escalas de los perfiles altimétricos de un trayecto	49
2.5.2	Construcción de los perfiles	49
Capítulo Tercero: ELECCION DEL SITIO DONDE SE UBICARA LA ESTACION REPETIDORA		57
3.1	Cálculo de la primera zona de Fresnel	65
3.2	Mediciones de intensidad de campo eléctrico	77
3.3	Cálculo de la atenuación por obstáculo	82
3.4	Análisis y elección del sitio	90
Capítulo Cuarto : CALCULO DEL ENLACE		92
4.1	Atenuación de transmisión	93
4.2	Nivel de la señal recibida	100
4.3	Relación señal ruido	101
Capítulo Quinto : SISTEMA DE RELEVOS RADIOELECTRICOS		105
5.1	Equipo de repetición a instalarse	108
5.1.1	Antenas	111
Capítulo Sexto : CONCLUSIONES		115
BIBLIOGRAFIA		117

## INTRODUCCION

El establecimiento de una comunicación radioeléctrica se basa en una planificación sistemática, la misma que debe cumplir con los requerimientos técnicos y a la vez considerar la factibilidad económica del sistema a instalarse.

Para retransmitir una señal de televisión, como es el caso del presente estudio, ha sido necesidad imprescindible realizar una evalua - ción técnica, la misma que determina la calidad del enlace y por otra parte se considera el sistema de repetidora que ha de instalarse para que en esta forma cumplir satisfactoriamente la finalidad propuesta de repetir la señal de televisión del canal 8 de Quito en Riobamba y sus alrededores. En lo posible se ha considerado las recomendaciones del Federal Communications Commission (FCC) y del Comité Consultivo Interna - cional de Radio (CCIR), observando no descuidar las consideraciones de carácter económico que son las que regulan la posibilidad de estable - cer este enlace.

Aspectos generales sobre propagación en el rango de VHF se consi - deran en el capítulo primero, por otra parte por ser un caso de inte - rás para el presente estudio se hace una evaluación de propagación sobre obstáculos naturales como picos de montaña, efecto conocido como - "filo de navaja".

En el capítulo segundo se da una idea general de la forma de in - vestigar el campo para seleccionar los posibles sitios en los que se ubicará la estación repetidora, se recopila una serie de datos necesi -

rios para una evaluación futura de los mismos y finalmente se construyen los perfiles altimétricos de las rutas entre la estación transmisora en Quito y cada uno de los posibles lugares de repetición.

La elección del sitio es uno de los puntos de vital importancia en el establecimiento del relevo radio eléctrico, <sup>\*</sup> justamente en el capítulo tercero se analiza la mejor posibilidad para establecer el enlace en base a los datos recopilados de cada uno de los sitios, de acuerdo a mediciones de intensidad de campo eléctrico realizadas en los mismos en diferentes fechas y horas y fundamentalmente en base a la intervención que presenta en la propagación el pico del Rumifahui el mismo que se encuentra situado a unos 48 Km de la estación transmisora de Quito, eligiendo el sitio denominado "Caparimaloma" como el más conveniente.

En el capítulo cuarto, se hace una evaluación de los parámetros que determina la calidad de un enlace radioeléctrico y por otra parte son los que dimensionan el equipo de radio a instalarse en el sitio de repetición por esta razón se calcula la atenuación de transmisión y cada una de sus componentes, se determina el nivel de la señal recibida y la relación señal - ruido, lógicamente estos parámetros determinarán el equipo a instalarse y por otra parte condicionan los factores económicos.

---

\* En adelante se llamará indistintamente; relevo radioeléctrico o repetidoras.

En el capítulo quinto se da una idea general sobre los sistemas de relevos radio eléctricos los mismos que han sido recomendados internacionalmente como los más generalizados, por otra parte se considera que dichos sistemas no son muy convenientes para el presente caso; debido a factores de orden económico, finalmente se establece el equipo de radio- a instalarse en el sitio de repetición haciendo un breve análisis del mismo.

En el capítulo sexto finalmente se hacen las conclusiones finales - a las que se llegan una vez concluido el presente estudio, a la vez se dan comentarios fundamentales sobre el proceso de una planificación para un enlace de televisión como el realizado en este estudio.

CAPITULO PRIMERO

PROPAGACION

EN EL RANGO DE VHF

El Reglamento de Radiocomunicaciones en la sección III-112 establece la subdivisión del espectro radiocelétrico en nueve bandas de frecuencias que se designan por números enteros en orden creciente, correspondiendo al rango de VHF entre 30 y 300 MHz, la banda número 8, relacionada con las ondas métricas.

A medida que la frecuencia radiocelétrica se eleva por encima de los 30 MHz, la influencia favorable de la ionósfera en la propagación a larga distancia se hace cada vez menor hasta desaparecer prácticamente en los alrededores de los 100 MHz y la propagación de la energía radiante a través de la ionósfera deja de ser un método regular de comunicación en frecuencias superiores a 30 MHz. Además, las longitudes de onda van desde 10 metros hasta 1 metro; siendo consideradas cortas, razón por la cual conviene utilizar antenas ubicadas por lo menos a varias longitudes de onda sobre la superficie de la tierra, entonces las ondas terrestres, que de todos modos tendrían un alcance muy restringido, dejan en esta forma de tener influencias en la propagación arriba de 30 MHz.

Sin embargo, esto no quiere decir que el aumento de la frecuencia corresponda a una desaparición de la propagación trans-horizonte; al contrario, se observa también este fenómeno en las partes superiores del espectro, donde se produce progresivamente por la influencia de otros factores.

La propagación en VHF se realiza por onda de espacio libre y por

onda troposférica, cubriendo actualmente distancias de hasta unos 1000 Km a diferencia de la propagación en HF en la cual se cubren mayores distancias que en VHF y UHF.

#### 1.1 PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE

Es necesario considerar a continuación las pérdidas de espacio libre, ya que de ellas depende directamente la calidad de la señal recibida.

A diferencia de los sistemas y cables donde las pérdidas de propagación son constantes, los sistemas de radio en VHF están sujetos a variaciones en el nivel de la señal recibida o desvanecimientos, estas condiciones causan una contribución de ruido variable. Los desvanecimientos son causados por cambios de las condiciones atmosféricas y sus efectos recaen en la confiabilidad de un sistema.

En el concepto general las pérdidas de propagación estimadas (pérdidas de potencia entre las antenas transmisora y receptora) son básicamente las pérdidas esperadas en el espacio libre; el espacio libre es una región en el cual no existen objetos que pueden reflejar u obstruir el haz radiocelétrico.

Esta es la condición que usualmente existe (en condiciones atmosféricas normales) entre los terminales de transmisión y recepción con suficiente despeje de la ruta. Bajo condiciones de espacio libre, la ener

gía de radio se propaga de acuerdo al inverso del cuadrado de la distancia, igual que en óptica.

Para una separación entre antenas isotrópicas de una longitud de onda, la atenuación de espacio libre es de 22 dB (Una antena isotrópica está definida como aquella que radia o recibe igual energía en todas las direcciones, aunque físicamente no es realizable, la antena isotrópica sirve como una referencia conveniente).

En la recomendación 341 y en el Informe 112 del CCIR, Volumen III, se da la siguiente relación entre la potencia disponible  $P$  en la antena de recepción, la potencia total radiada  $P_r$ , la pérdida de transmisión  $L$ , la pérdida de transmisión de referencia  $L_b$  y la ganancia de antena  $G_p$  para un trayecto.

$$P = P_r - L \quad (1-1)$$

$$L_b = L + G_p \quad (1-2)$$

La atenuación  $A$  con relación al espacio libre se define como:

$$A = L_b - a_o \quad (\text{dB}) \quad (1-3)$$

$$a_o = 32.45 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Km)} \quad (1-4)$$

En esta ecuación  $a_o$ , representa la pérdida de transmisión de referencia en el espacio libre;  $f$  la frecuencia en MHz y  $d$  la distan-

cia en Km.

Es conveniente presentar esta ecuación en forma de nomograma, lo cual se puede ver en la Fig. 1 - 1.

La expresión anterior es el punto de partida de todos los cálculos de pérdidas de transmisión para las ondas radioeléctricas como se analizará más adelante, si no hubieran otros factores la señal recibida sería perfectamente estable y regular, puesto que la fórmula no contiene ningún término variable.

Tiempos atrás se consideraba que era suficiente conocer las características del terreno para hacer cálculos de propagación satisfactorios; estudios posteriores consideran que es necesario también conocer la curva del índice de refracción de la atmósfera en función de la altura sobre el nivel del suelo, conocida generalmente como curva  $n$ .

El índice de refracción atmosférico  $n$  depende de:

- a) La densidad del aire (disminuye con la altura)
- b) La humedad (tensión del vapor de agua)
- c) La temperatura absoluta  $T$ .

El rayo que va a través de la tropósfera seguirá una curvatura que está relacionada con el gradiente del índice de refracción.

Distancia (km)      Pérdida entre antenas isotrópicas (dB)      Frecuencia (MHz)      Longitud de onda

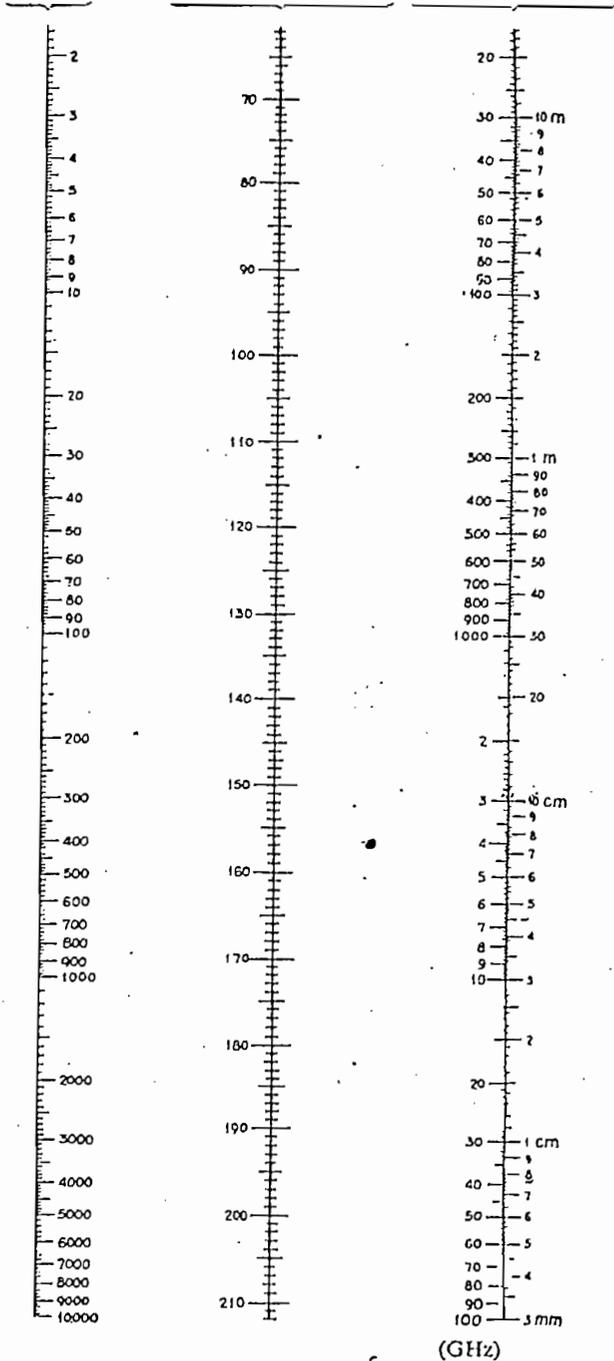


Figura 1 - 1

Nomograma para determinar la pérdida de transmisión en espacio libre entre antenas isotrópicas (dB)

Para mejor comodidad se usa generalmente un factor que se llama refractividad  $N$  y que viene dado por la siguiente expresión:

$$N = (n-1) \cdot 10^6 \quad (1-5)$$

Se ha observado que las variaciones de este factor  $N$  del aire se pueden representar también con gran aproximación, por la expresión exponencial siguiente\*:

$$N(h) = 1 + N_s \cdot 10^{-6} e^{-bh} \quad (1-6)$$

El subíndice  $s$  se refiere al valor de  $N$  en la superficie de la tierra,  $h$  es la altura sobre esta superficie expresada en Km y  $b$  es un número definido por la siguiente expresión:

$$e^{-b} = 1 + \frac{\Delta N}{N_s} \quad (1-7)$$

Donde  $\Delta N$  representa la diferencia entre el valor de  $N_1$  a una altura de 1 Km sobre la superficie de la tierra, y el valor de  $N_s$  sobre esta superficie. Se observará que  $\Delta N$  es una cantidad negativa.

$$\Delta N = N_s - N_1 \quad (1-8)$$

En algunos países se ha estudiado y se ha dado valores de  $\Delta N$  en

contrándose las siguientes relaciones:

Estados Unidos	:	$\Delta N = -7.32 \exp. (0.005577 N_g)$
Alemania Occidental	:	$\Delta N = -9.30 \exp. (0.004565 N_g)$
Reino Unido	:	$\Delta N = -3.95 \exp. (0.0072 N_g)$

Adoptando algunas de estas fórmulas se puede calcular  $\Delta N$  a partir de  $N$  calculado en la superficie ( $N_g$ ).

En el informe 322 Vol. II del CCIR se da para el parámetro  $N$  la siguiente expresión:

$$N = \frac{77.6}{T} \left( P + 4180 \frac{e}{T} \right) \quad (1-9)$$

Donde:

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

$e$  = presión del vapor de agua (milibar)

$p$  = presión atmosférica total (milibar)

Las consideraciones anteriores servirán posteriormente para determinar los factores de la curvatura de la tierra.

## 1.2 TRAYECTOS DE LAS ONDAS TROPOSFERICAS

Las relaciones geométricas de los trayectos dentro del horizonte o

línea de vista puede observarse en la Fig. 1-2a, en la que se ve la situación verdadera. Dos rayos atraviesan del transmisor T, al receptor R. Se observa que el rayo directo no sigue una línea recta debido a la refracción que sucede en la atmósfera, curvándose en la misma dirección que la curvatura de la tierra, por otra parte, el rayo reflejado, también sufre una curvatura debido a la refracción, llegando al receptor después de una reflexión en la superficie de la tierra.

Debe adoptarse un radio aparente de la tierra  $R$ , tal, que compense los efectos atmosféricos, lográndose así tener rayos en línea recta. La geometría de esta situación se muestra en la Fig. 1-2b

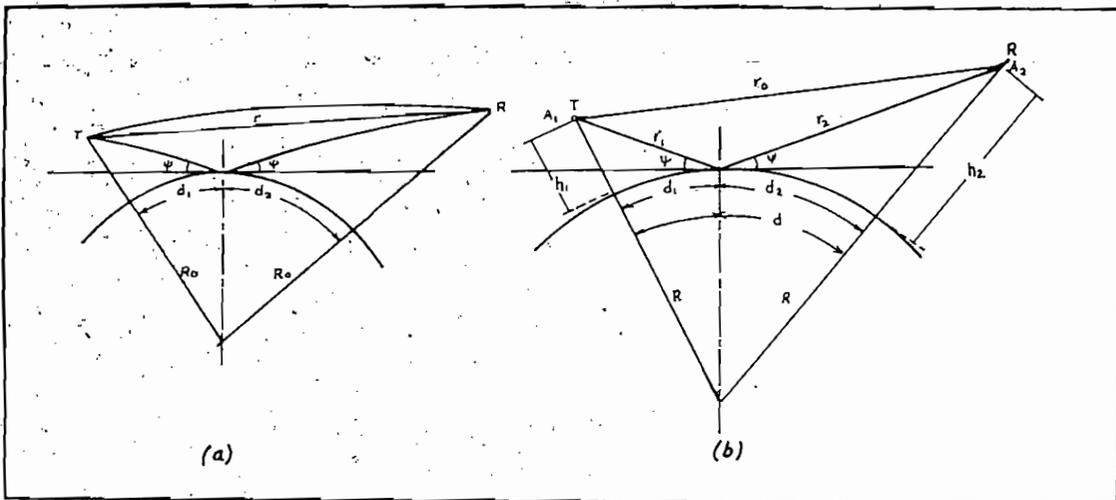


Fig. 1 - 2

La relación entre el radio equivalente de la tierra  $R$  y el radio verdadero  $R_0$  es dada por:

$$\frac{R}{R_0} = K \quad (1 - 10)$$

K se denomina factor del radio de la tierra, este factor K en la hipótesis de variación lineal del índice de refracción con la altura, está dado por:

$$K = \left( 1 + \frac{R_0}{n} \cdot \frac{dn}{dh} \right)^{-1} \quad (1 - 11)$$

Adoptando un radio de tierra de 6370 Km se puede representar el factor K como:

$$K = \left( 1 + \frac{\Delta N / \Delta h}{157} \right)^{-1} \quad (1 - 12)$$

En la Fig. 1-3 se da una tabla de valores para K y  $\Delta N/h$ , así como la curvatura de los rayos radioeléctricos para diferentes gradientes lineales.

El CCIR en su recomendación NO 369-1, define una atmósfera básica de referencia como:

$$n(h) = 1 + 289 \times 10^{-6} \exp. (-0.136 h) \quad (1 - 13)$$

siendo n (h) el índice de refracción a una altura h en Km sobre el nivel del mar.

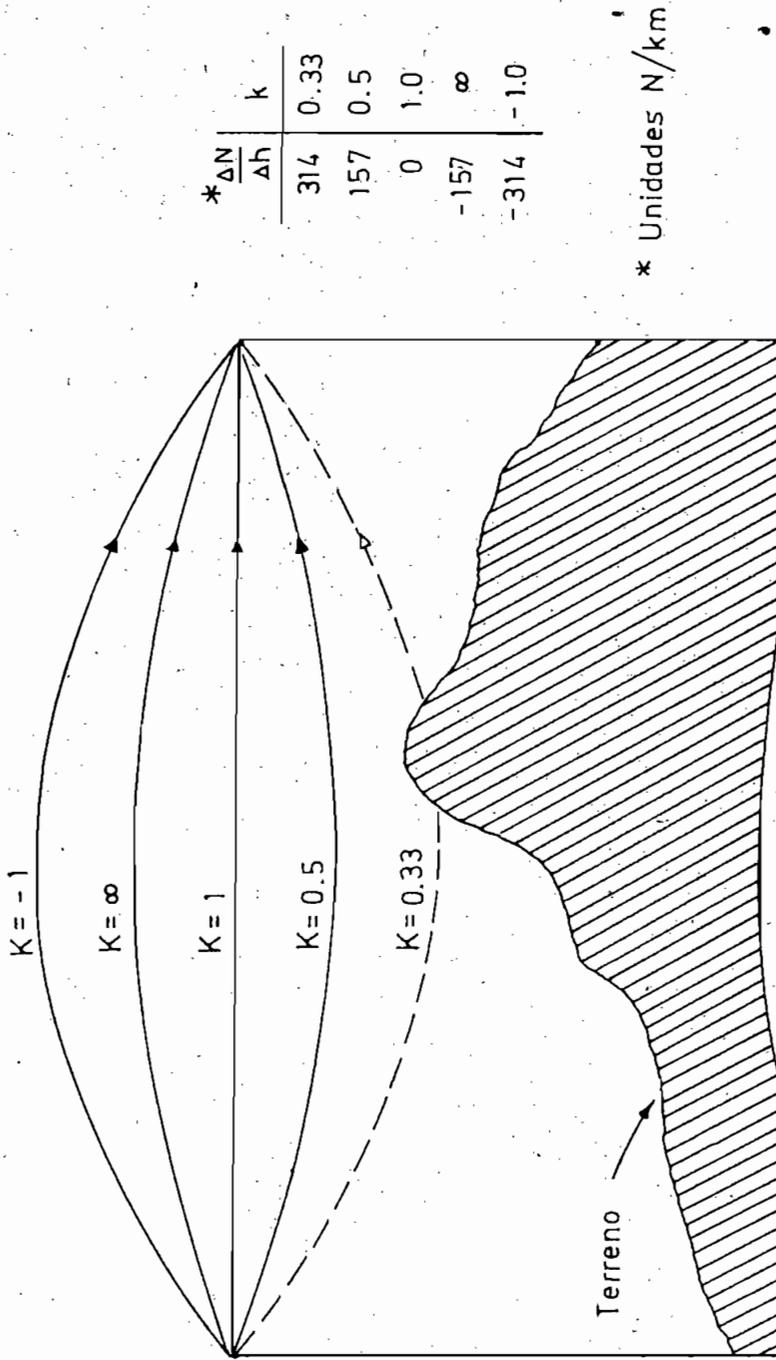


Fig.3 Curvatura de los rayos radioelectricos, para gradientes lineales

El gradiente del índice de refracción de esta atmósfera en la superficie de la tierra es sensible e igual al de una atmósfera cuyo efecto puede representarse por un radio equivalente a  $4/3$  del radio real de la tierra.

En esta forma se ha examinado las condiciones normales a esperarse de una atmósfera, en condiciones meteorológicas normales.

A continuación se considera otro factor importante en propagación troposférica, denominado Zona de Fresnel.

Refiriéndose nuevamente a las ondas directa y reflejada que llegan a la antena receptora como ondas interferentes, la intensidad de campo resultante en la antena receptora es el vector suma de las dos componentes; dependiendo esta suma de la magnitud y fase de la onda reflejada con respecto a la onda directa.

El lugar geométrico que resulta de todos los puntos en los que la onda reflejada llega con media longitud de onda, más larga que la onda directa es el vector suma de máxima intensidad, es lo que se conoce como primer elipse de Fresnel. Matemáticamente el radio de la primera zona de Fresnel está definido por:

$$b_x = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{(d_1 + d_2) f}} \text{ [m]} \quad (1 - 14)$$

En donde:

$d_1$  = distancia en Km desde el transmisor a una distancia a la que se desea conocer el radio

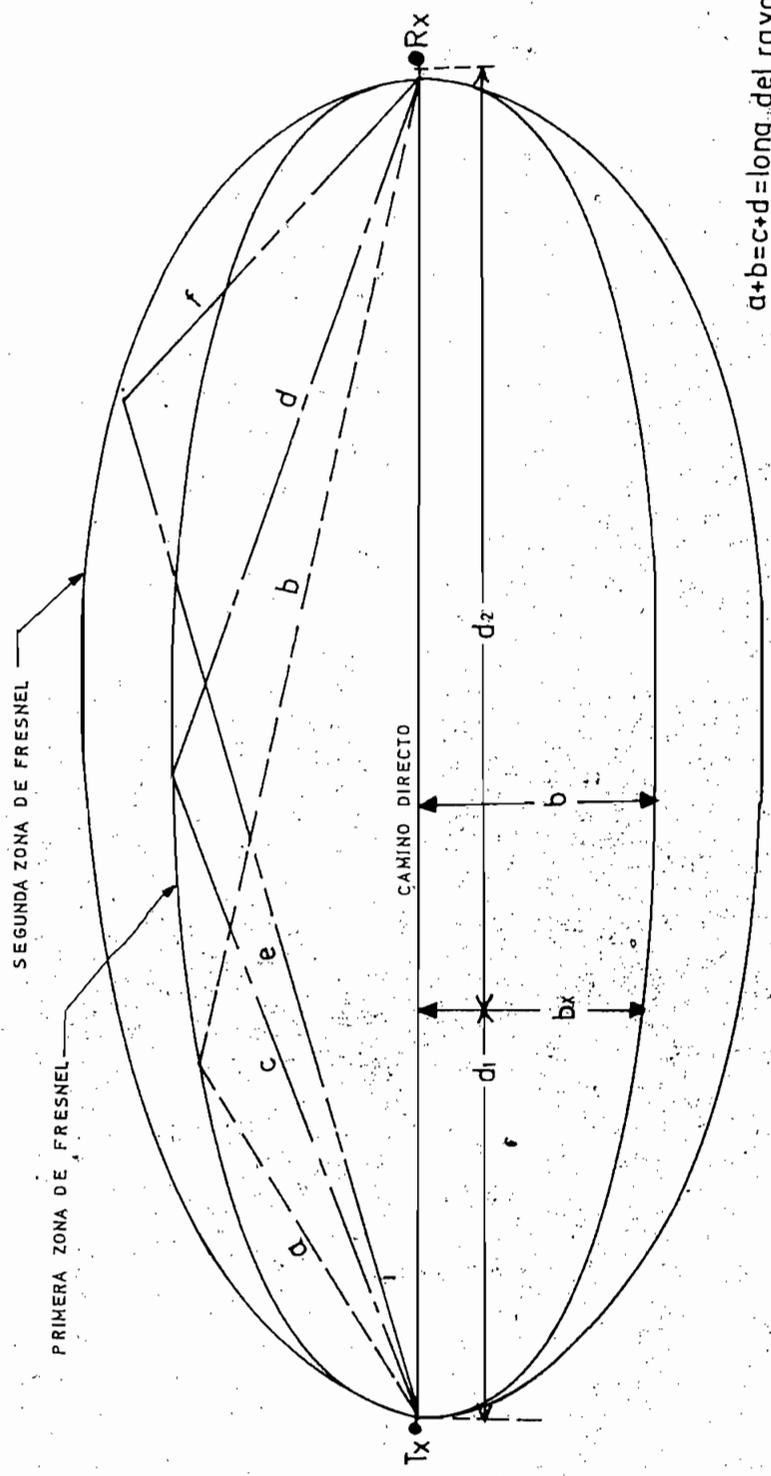
$d_2$  = distancia en Km desde el punto considerado hasta el receptor

$f$  = frecuencia de operación en MHz

Como se mencionó anteriormente se tendrá máxima energía en la antena receptora, cuando el rayo reflejado en el borde de la primera elipse de Fresnel, tenga un desfaseamiento de media longitud de onda ( $\lambda/2$ ), con respecto al rayo directo.

En la Fig. 1-4 se puede observar la representación gráfica de la primera y segunda zona de Fresnel, existiendo esta última, cuando el desfaseamiento entre el rayo directo y reflejado es una longitud de onda ( $\lambda$ ).

Otro efecto atmosférico es el de la absorción gaseosa, la misma que considera la absorción de las ondas radioeléctricas por el vapor de agua, oxígeno, lluvia y nubes en frecuencias superiores a 100 MHz, y en especial podemos indicar que la absorción por el vapor de agua presenta un punto de resonancia en 22,23 GHz y la absorción por el Oxígeno en 60 y 120 GHz.



- $a+b=c+d = \text{long. del rayo directo} + \frac{\lambda}{2}$
- $e+f = \text{long. rayo directo} + 2(\frac{\lambda}{2})$
- $d+d_2 = \text{long. camino directo}$
- $b_y = \text{radio primera zona de Fresnel}$

Fig.1-4. Ilustración del elipsoide de Fresnel

Si señalamos a  $\gamma_{oo}$  como la absorción del oxígeno y  $\gamma_{wo}$  a la del vapor de agua, entonces la absorción gaseosa total en un trayecto con visibilidad directa puede expresarse por la fórmula:

$$A_a = \gamma_{oo} r_{eo} + \gamma_{wo} r_{ew} \quad (1 - 15)$$

Siendo  $r_{eo}$  y  $r_{ew}$  las distancias equivalentes del trayecto a través de la atmósfera, la Fig. 1-5 es la representación gráfica de este efecto.

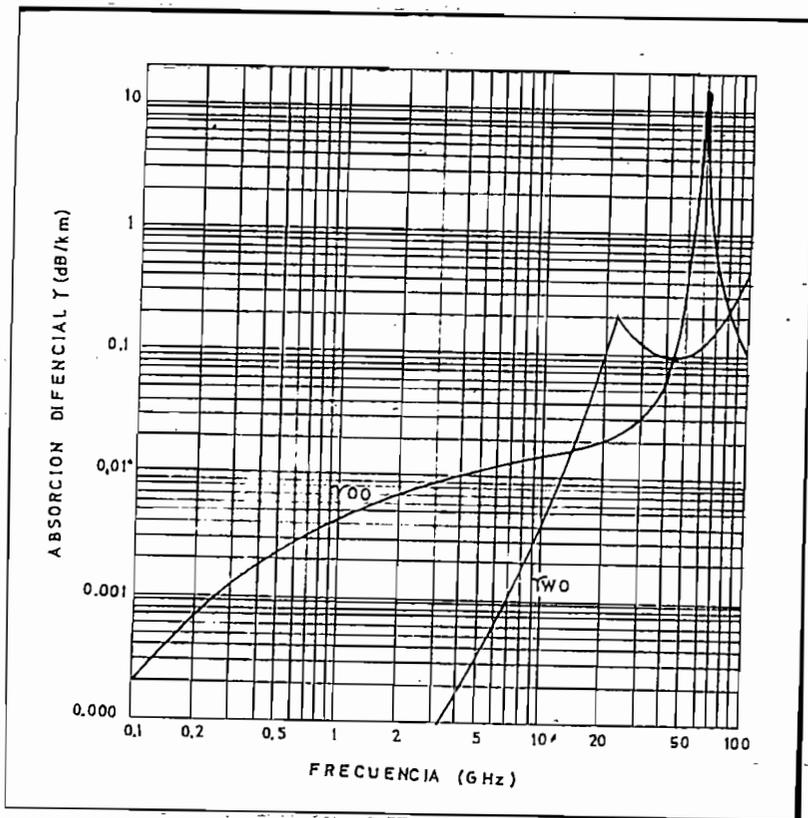


Fig. 1 - 5  
Valores  $\gamma_{oo}$  y  $\gamma_{wo}$  de la absorción por el oxígeno y el vapor de agua

La absorción de la energía se debe tanto a las pequeñas gotas de lluvia, siendo apreciable arriba de los 3 GHz . En general en frecuencias del orden de 8 a 10 GHz los efectos de la lluvia, el granizo, la neblina y la nieve en la atmósfera, empiezan a manifestarse.

Como se puede analizar en la curva de absorción, para las frecuencias que interesan en el presente estudio, la absorción es prácticamente despreciable, manifestandose con mayor interés en frecuencias superiores a 3 GHz. como ya se mencionó anteriormente.

Para resumir estas consideraciones sobre la absorción atmosférica, se puede decir que no existe ningún medio de reducir sus efectos, a más de la diversidad. Se debe evaluar por anticipado las atenuaciones inevitables en un trayecto determinado y con una frecuencia dada, a fin de poderlas tener en cuenta cuando se calcule el nivel de señal requerido para obtener un servicio satisfactorio.

Se ha visto hasta ahora que, en presencia de la atmósfera, los trayectos seguidos por las ondas radioeléctricas, no son líneas rectas ni curvas regulares, son por el contrario, el resultado de pequeños cambios de dirección sucesivos, según mecanismos imperfectamente conocidos.

Cuando se considera una variación lineal del índice de refracción, la propagación radioeléctrica presenta una variación sistemática y regular en función de la altura, pero, en realidad en el sentido vertical, se

producen variaciones irregulares en el tiempo y en el espacio, mientras que, en sentido horizontal se producen otras variaciones, llevándonos - esto al problema de la propagación trans-horizonte. Este tipo de propagación se debe a varias causas, combinándose sus efectos generalmente - en forma inexplicable, estas causas son:

- a) refracción normal en la atmósfera;
- b) difracción alrededor y por encima de los obstáculos;
- c) dispersión de las ondas hacia adelante;

a) Refracción. - Atendiendo al modelo de la atmósfera de referencia indicado anteriormente, se observa que un rayo transmitido tangencialmente a la superficie de la tierra tiende a curvarse y volver hacia allá, de ahí el concepto de radio terrestre equivalente, igual a  $4/3$  del radio real de la tierra que tiene en cuenta esta tendencia - en las condiciones normales.

b) Difracción. - Recurriendo al análisis de los fenómenos de difracción óptica realizados por Fresnel y Kirchhoff se comprende la difracción de las ondas en las bandas de VHF y UHF, no obstante, hay - que aplicar con prudencia esta teoría por las dificultades con las que se tropieza cuando se trata de asimilar obstáculos naturales como montañas y colinas los mismos que son importantes no tanto por reducir las pérdidas de transmisión de un trayecto, como porque reducen la gama de desvanecimiento en un trayecto determinado.

Esto ocurre cuando el trayecto directo no es de alcance óptico, pero son visibles el transmisor y el receptor desde la cumbre de una montaña denominándose este fenómeno "efecto de filo de navaja"\* .

La gama de las ondas métricas es más apropiada que las superiores - para las comunicaciones por onda difractada por las cumbres de montañas o colinas.

Siendo este un caso de especial interés para el presente estudio , se analizará más detalladamente al final del presente capítulo.

- c) Dispersión.- Desde hace unos 20 años se viene utilizando frecuencias superiores a 30 MHz para comunicaciones, encontrándose que se pueden recibir señales más allá del horizonte, el nivel de estas señales, aún débiles, no fue posible explicar por la teoría de difracción esférica, además se notó que las señales estaban sujetas a fluctuaciones rápidas. Se concluyó que estas tenían su origen como resultado de dispersión de energía electromagnética desde irregularidades elevadas en la tropósfera.

Las pérdidas de transmisión en las frecuencias superiores a 30 MHz aumentaban bruscamente más allá del horizonte de acuerdo a la teoría de difracción alrededor de una tierra esférica. Sin embargo , después de haber aumentado una decena de decibelios sobre el valor en el espacio libre, el índice de atenuación en función de la dis-

\* Ref: CCIR Vol. II Informe 263-1 Oslo

tancia disminuye, el nivel de la señal variable se hace cada vez mas constante y a pesar de ello, se obtiene distancias útiles de centenas de kilómetros, aproximadamente en el orden de 300 a 600 Km. Esta tendencia a mantener constante la señal se llama "dispersión". La propagación de la energía radioeléctrica por dispersión tiene un efecto directivo extremadamente pronunciado hacia adelante, por ello se designa a este fenómeno con el nombre de "Dispersión hacia adelante".

El hecho de que la pérdida de transmisión aumente cada vez más lentamente a partir de cierta distancia, extendiéndose ésta distancia más allá del horizonte, y que las señales sean inestables, y presenten - desvanecimientos decrecientes y crecientes, significa que esta propagación por dispersión tiene importancia en lo que respecta a efectos de interferencia a larga distancia entre diferentes enlaces radioeléctricos que operan en la misma frecuencia.

Los desvanecimientos constituyen un problema de capital importancia para los enlaces radioeléctricos sean estos de servicios fijo o móvil, aquellos que determinan el porcentaje de confiabilidad de un servicio, por otra parte, el "desvanecimiento creciente" es el que condiciona el alcance máximo de interferencia de una transmisión.

El desvanecimiento corresponde a las variaciones de la señal recibida que se deben a las fluctuaciones de las características del trayecto de transmisión y estas obedecen a :

- fluctuaciones del nivel de potencia de la señal recibida, y
- fluctuaciones de la señal efectivamente recibida por la interacción entre dos o más señales que llegan a los puntos de recepción por trayectos diferentes.

Para concluir la idea general de propagación en VHF, hay que insistir en que se conoce imperfectamente este campo de la propagación y que lo más positivo y aplicable es la experiencia ya que datos disponibles en las recomendaciones internacionales como los volúmenes del CCIR son a menudo de carácter estadístico que sólo pueden servir de guía y punto de partida para estudios concretos.

### 1.3 PROPAGACION CON OBSTACULO EN EL TRAYECTO

Cuando los terminales de VHF o UHF de un enlace radioeléctrico propuesto estén ampliamente separados tal que la comunicación por línea de vista no es posible debido a la presencia de un obstáculo en el camino, tal como una montaña o una colina, la presencia de estos obstáculos puede mejorar la calidad y confiabilidad de una comunicación.

La intensidad de la señal recibida mejora debido a la difracción sobre la punta del obstáculo y varía con la frecuencia de la señal, la elevación y forma del obstáculo y la localización de éste.

En muchos casos, la intensidad del campo difractado excede a la in

tensidad de un trayecto normal y además tiene ventajas adicionales como estar esencialmente libre de desvanecimientos.

#### 1.3.1 Consideraciones Generales

El uso convencional de los equipos de radio comunicaciones en VHF ha sido considerado tácitamente sólo cuando la ruta no estaba obstruida y las estaciones estaban situadas relativamente cerca, o suficientemente elevadas y en línea de vista.

tensidad de un trayecto normal y además tiene ventajas adicionales como estar esencialmente libre de desvanecimientos.

### 1.3.1 Consideraciones Generales

El uso convencional de los equipos de radio comunicaciones en VHF ha sido considerado tácitamente sólo cuando la ruta no estaba obstruida y las estaciones estaban situadas relativamente cerca, o suficientemente elevadas y en línea de vista.

Sin embargo la experiencia demuestra que se puede obtener comunicaciones satisfactorias sobre un rango apreciable ya que tanto la calidad como la confiabilidad son mejorados en enlaces radioeléctricos que tienen obstáculo en su trayecto.

En situaciones donde el terreno es sobresaliente, tal como una montaña puntiaguda de suficiente elevación, situada entre el transmisor y receptor, mejorará el nivel de la señal y además estará relativamente libre de desvanecimientos, como ya se mencionó anteriormente este fenómeno se conoce como "efecto de filo de navaja".

Los circuitos, cerca o más allá de la línea de vista pueden ser clasificados como sigue:

- 1) Circuitos normales: estos pueden cubrir todo tipo de terreno con pequeñas irregularidades a excepción de efectos o ca-

001609

racterísticas predominantes del terreno, como puede verse en la Fig. 1-6a

- 2) Circuito obstruido: circuito en el cual existe una preminencia en el terreno como se observa en la Fig. 1-6b

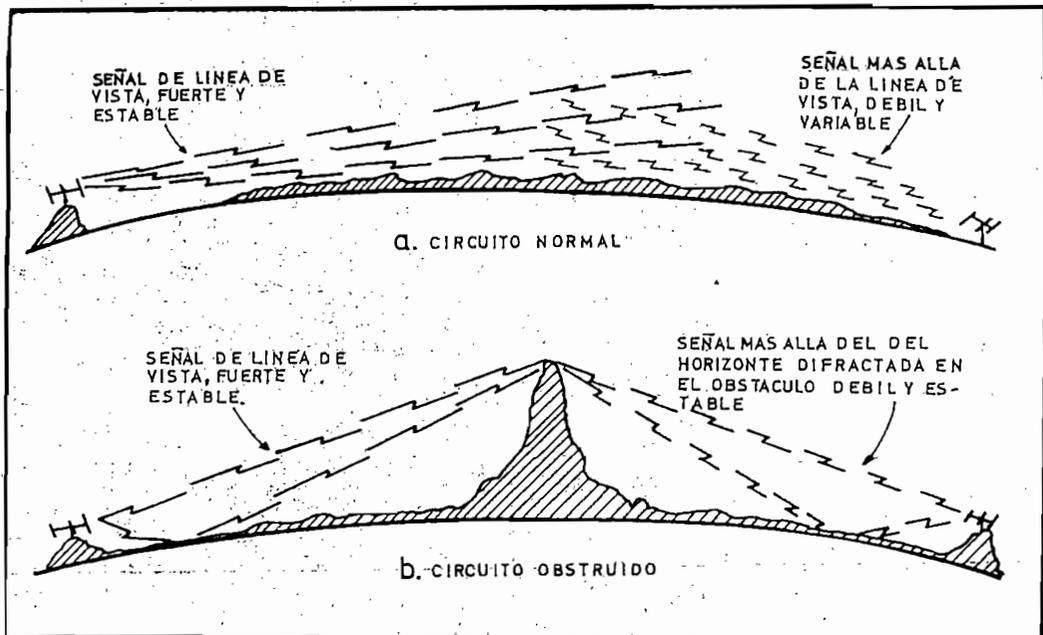


Fig. 1-6

### Circuito Normal y Obstruido

El caso de interés para este trabajo es el segundo, el mismo que será analizado en este capítulo y que tiene las siguientes ventajas:

- a) No son necesarias repetidoras intermedias, requiriéndose en esta forma menos personal y equipo.

- b) Se evitan problemas de provisión de energía eléctrica e instalaciones en sitios inaccesibles.
- c) Se alcanza una alta confiabilidad en el enlace, ya que el estudio de ganancia de obstáculo demuestra que el desvanecimiento es menor.
- d) Puede establecerse enlaces independiente en el mismo trayecto.

### 1.3.2 Pasos para Planificación de la Ganancia por Obstáculo

La planificación e ingeniería de estos trayectos es establecida como sigue:

- a) En cartas topográficas se identifica las áreas terminales.
- b) Se traza una línea recta entre los sitios más deseables.
- c) Se localiza el obstáculo y se determina su parte más alta.
- d) Se dibujan los perfiles altimétricos a lo largo de la línea.
- e) Las pérdidas del trayecto deben ser calculadas.
- f) Se hacen mediciones de intensidad de campo en el sitio termi-

minal con un transmisor de prueba en el otro sitio.

- g) Se escoge el sitio de señal máxima probando con diferentes alturas de antena.

### 1.3.3 Estudios Preliminares del Trayecto:

- a) Sobre mapas topográficos, se identifican las áreas entre las cuales se desea la comunicación entre las líneas de nivel o contornos de altitud no mayor de 100 pies. En la selección de las áreas terminales, se debe considerar la accesibilidad de los sitios a las redes de caminos, fuentes de potencia eléctrica y la mejor red de comunicación.
- b) Se determina si un pico de montaña o cresta existe entre los dos terminales tentativos y si la mayor altitud que rodea al terreno está en la dirección de las áreas terminales, luego, deben ser seleccionados varios puntos alternos en las dos áreas terminales, si no existe una cresta de montaña o pico entre cualquiera de los sitios tentativos, es posible que sea necesario instalar una estación repetidora, esto es para el caso de la Fig. 6-2a mencionada anteriormente.
- c) Luego de efectuar las consideraciones anteriores es necesario dibujar una línea entre las dos terminales tentativos, que

parezcan los más deseables, por ejemplo, si los puntos B y E de la Fig. 1-7 fueran ambas estaciones terminales (o relevos radiocelétricos) en una red de comunicaciones, ellos evidentemente serían los más deseables. Si la obstrucción es una cresta, se dibuja estas líneas a través del tope de la cresta hasta un punto en el cual la línea se encuentre tan cerca como sea posible a los sitios tentativos seleccionados en el otro extremo del circuito, en la Fig. 1-7 las líneas de puntos desde C a F o desde A a D no cruzan a través de la parte más alta de la montaña, mientras que las líneas C a D y desde A a F cruzan el lomo puntiagudo de la cresta por lo tanto, las líneas A a F, B a E y C a D, son las rutas tentativas más apropiadas para este circuito.

#### 1.3.4 Preparación de Perfiles

Después de seleccionar la ruta que aparentemente cumple con los requerimientos se debe realizar el dibujo de los perfiles altimétricos para comprobar las obstrucciones de la ruta entre los sitios y elegir el más conveniente.

Para tener en cuenta la refracción normal de las ondas de radio por la atmósfera, los perfiles altimétricos deben ser dibujados sobre un papel especial a escala, de tal forma que modifique el radio de curvatura de la tierra por un factor  $K = 4/3$ , tal como el que se muestra en la Fig. 1-8, el mismo que tiene una escala para una extensión de -

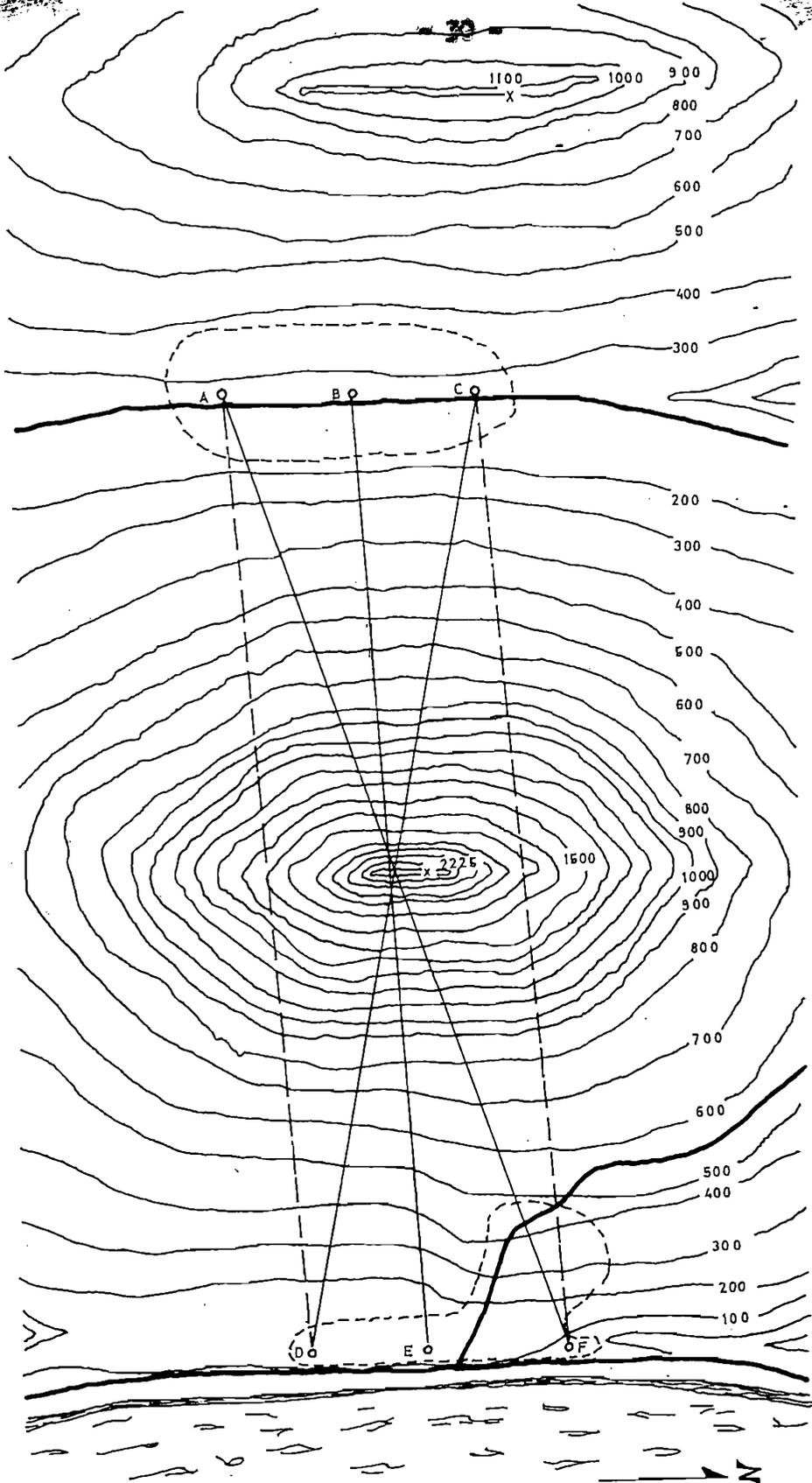


Fig.1-7 Mapas de contornos

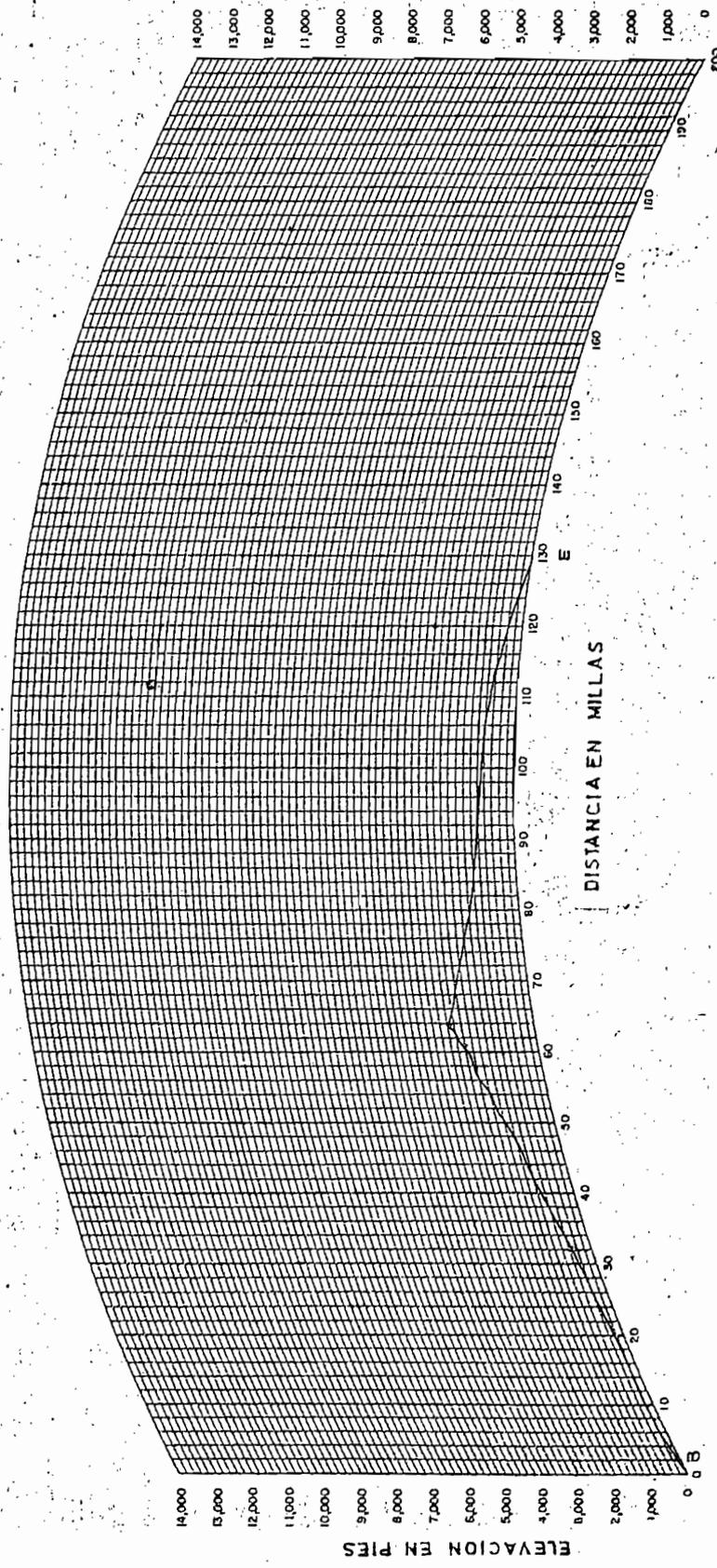


Fig.1-8 Perfil del Trayecto B-E de la fig.1-7

200 millas y en este se ha grafizado el perfil altimétrico desde B a E y se puede apreciar el obstáculo con su altura correspondiente con respecto a los terminales B y E. Finalmente se evalúan las pérdidas de propagación para la ruta propuesta, para lo cual es necesario conocer la altura del obstáculo, la longitud del enlace y la frecuencia de operación.

#### 1.3.5 Pérdidas de Propagación cuando existe Obstáculo

Para hacer una evaluación de las pérdidas de propagación cuando existe un obstáculo, se puede hacer uso del nomograma de la Fig. 1-9, el cual es utilizado en la siguiente forma:

- (1) Dibujar una línea que una la frecuencia de operación en la escala F con la longitud de la ruta en la escala D.
- (2) Conectar el punto donde está línea cruza la línea X sin escala con altura de obstáculo en la escala H.
- (3) Leer las pérdidas del enlace estimadas en el punto donde esta segunda línea intercepta la escala L.

De acuerdo a estas pérdidas estimadas se podrá seleccionar el equipo necesario que será instalado en los sitios seleccionados.

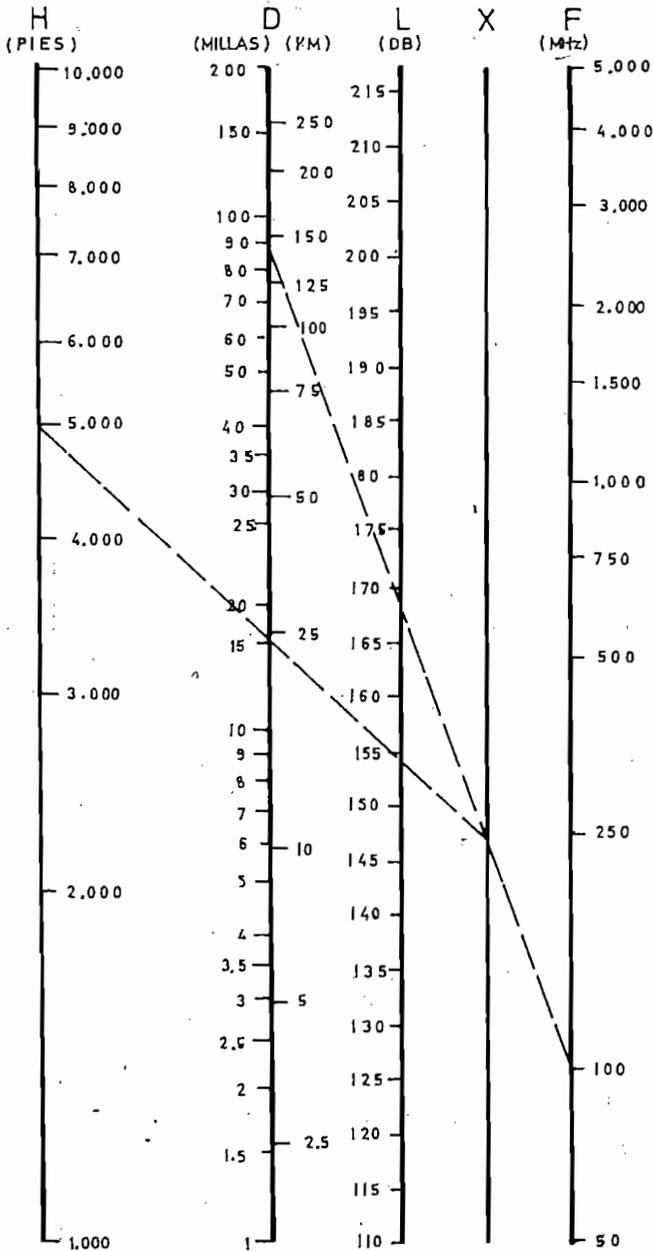


Fig. 1-9. Nomograma para calcular las perdidas de propagación, con obstáculo en la ruta

CAPITULO SEGUNDO

PERFILES ALTIMETRICOS

DE LAS RUTAS

## 2.1 GENERALIDADES

Después de tener una breve idea de la propagación en VHF, es conveniente considerar la selección de el sitio más adecuado para la edificación de la repetidora, para esto, el paso inicial es la investigación del campo (terreno) y la construcción de los perfiles altimétricos.

En cartas topográficas, es necesario identificar las áreas entre las cuales se desea establecer el enlace radioeléctrico, estas cartas constituyen fuentes de información muy útiles ya que de ellas se obtienen datos importantes como los que se mencionan a continuación:

Tipos de suelos como: salinos, rocosos, terrenos sujetos a inundaciones, manglares, ciénegas, pantanos, bosques, huertas, etc., además en ellos se pueden determinar tipos de caminos, puentes, líneas de ferrocarriles y construcciones tales como casas, chozas, iglesias, escuelas, minas, etc.

Es conveniente utilizar cartas topográficas en las que se disponga de curvas de nivel con intervalos de 40 m, y curvas auxiliares a 20 m cuando sea necesario.

Luego de seleccionar las áreas terminales o las áreas donde se edificarán las repetidoras es necesario considerar la accesibilidad al sitio, las fuentes de energía y la mejor red de comunicaciones.

Se determinará si existe un pico de montaña o colina entre los dos terminales tentativos y si este es de mayor altitud que las áreas en mención, entonces, se debe escoger varias alternativas de localizaciones en las dos áreas terminales.

En lo que concierne al estudio propuesto, hay que indicar que para los propósitos de la selección de las rutas y los sitios, sólo está por determinarse uno de los terminales ya que el otro lo constituye la antena transmisora de el Canal 8, localizada en las vecindades de Quito, y que tiene las siguientes características geográficas:

Altitud	:	3695 m	sobre el nivel del mar
Latitud	:	0° 9' 56.08"	Sur
Longitud	:	78° 31' 11.32"	Oeste
Altura de la torre	:	20 m	

## 2.2 INVESTIGACIONES DE CAMPO

Para los propósitos preliminares de seleccionar el área y en este sitio en el cual se instalará la posible repetidora se han realizado los estudios iniciales en cartas topográficas, elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), las mismas que tienen la escala de 1:50 000. En la carta topográfica que se adjunta a continuación; están localizados los posibles lugares en donde se instalará la repetidora.

De la observación realizada se puede indicar que prácticamente la

ciudad de Riobamba se encuentra atrás y a una altura inferior de una cordillera, por lo tanto se ha tratado de localizar en las cartas topográficas mencionadas una área terminal que tenga posibilidades de acceso y línea de vista hacia Riobamba y se ha localizado la zona de Guaslan como la más conveniente.

Ha sido necesario realizar una inspección de la zona, encontrándose que existen varias colinas que podrán ser los sitios posibles para establecer la estación repetidora. Debido a su estructura topográfica y facilidades de acceso ha sido posible llegar hasta tres sitios denominados "Loma de la Mira o Guaslan de Yanacocha", "Caparimaloma" y "El Arrayán", los mismos que se pueden observar en la carta topográfica antes mencionada la misma que corresponde al Cantón Guano.

En la inspección del campo, se logró llegar hasta el sitio "Loma de la Mira" en un vehículo tipo Jcep, ya que existe un camino de acceso, este sitio es muy aceptable para la localización de la repetidora, comprobándose que existe línea de vista hasta la ciudad de Riobamba y sus alrededores.

En lo que respecta al sitio de "Caparimaloma" el camino está inconcluso en unos 700 m , a pesar de esto fue factible llegar hasta el lugar mencionado, en un vehículo tipo Jeep, este sitio tiene características similares a la "Loma de la Mira" como es la línea de vista a la ciudad de Riobamba y sus alrededores.

En tercer lugar es el denominado "El Arrayán" al que no existe camino de acceso y además no hay línea de vista a la ciudad de Riobamba, pero es más elevado que los otros dos sitios, se consideró que con una altura de torre conveniente podría ser un sitio adecuado.

### 2.3. DATOS DE LOS POSIBLES SITIOS

En una inspección de campo es conveniente reunir la mayor cantidad de información acerca de cada sitio propuesto, esta información es necesaria para evaluar el mérito relativo de cada sitio ya que la elección final se la hará en base a una comparación. A continuación se exponen una serie de datos que son considerados como necesarios y recomendables para establecer esta clase de enlaces:

- a) Localización por: altitud, latitud y longitud
- b) Accesibilidad: tipo de vehículo requerido y tiempo de viaje desde la carretera más cercana.
- c) Camino: condición del camino existente, o longitud de construcción de caminos nuevos requeridos.
- d) Energía eléctrica: distancia a la red de energía eléctrica comercial más cercana y tipo de la potencia disponible.
- e) Área o superficie disponible para construcción de torre y caseta.
- f) Condiciones del terreno: tipo de limpieza que debe efectuarse-desmontes, etc.
- g) Suelo: tipo de suelo en el cual el edificio y torre serán cons

truidos.

- h) Obstrucciones: tipos de obstrucciones locales y altura de torre requerida para proveer despeje de la ruta.
- i) Estructuras existentes: descripción de edificios o torres existentes que puedan ser usadas para la estación.
- j) Tiempo: cualquier condición de tiempo no usual que se espera en el área, incluyendo cantidad de acumulación de nieve o hielo y máxima velocidad del viento esperada.
- k) Temperatura: la más alta y baja temperatura que puede ser esperada para prevenir la calefacción o ventilación del equipo.
- l) Posibles fuentes de interferencia de origen eléctrico.

De acuerdo a lo considerado anteriormente los datos obtenidos en diferentes visitas de observación a los tres sitios fueron los siguientes :

Loma de la Mira o Guaslan de Yanacocha

- a) Localización: Las coordenadas geográficas de este sitio son las siguientes:

Altitud : 3858 m sobre el nivel del mar  
Latitud : 1° 30' 3" Sur  
Longitud : 78° 34' 58" Oeste

Con la siguiente posición de referencia a los 100 m más cercanos en

La carta topográfica NIV - C4 - Guano - 3889 II de el I.G.M.

- b) **Accesibilidad:** El tipo de vehículo más conveniente para llegar hasta el punto mismo de la instalación y edificación de la torre y caseta es tipo Jeep, con un tiempo de viaje de: 10 minutos desde Riobamba a Guano, 30 minutos desde Guano a la población de Ilapo y finalmente, 15 minutos desde esta población - hasta el sitio "Loma de la Mira".
  
- c) **Camino:** Tomando como referencia la ciudad de Riobamba hay que indicar que desde esta ciudad a la población al Guano existe una carretera asfaltada de primer orden; desde allí hasta Ilapo hay una carretera carrosable de 21 Km aunque de tercer orden , que llega hasta el sitio de La Mira.
  
- d) **Energía eléctrica:** En la población de Santa Teresita comprendida entre Guano a Ilapo existe una planta eléctrica de la Empresa Eléctrica Chimborazo la misma que se encuentra a 3 Km de Guano y a 12 Km de la "Loma de la Mira" en línea recta. Además debe indicarse que es más conveniente instalar un equipo de fuerza, el mismo que podría ser controlado por alguna persona que viva en las cercanías de este sitio.
  
- e) **Area:** la superficie disponible es aproximadamente de una hectárea, suficiente para instalar la antena y construir la caseta - para el equipo.

- f) Condiciones del terreno: El área no necesita ningún trabajo adicional en lo que respecta a despeje ya que es de tipo páramo y no existe ningún obstáculo.
- g) Suelo: El suelo es firme de tal manera que puede edificarse sin ninguna dificultad.
- h) Obstrucción: No existe ningún tipo de obstrucción y la altura de antena no tiene ningún inconveniente con respecto al terreno.
- i) Estructuras existentes: No existe ninguna construcción en este sitio a más de un hito.
- j) Tiempo: Durante el invierno generalmente permanece nublado, y en el verano despejado, no existe acumulación de nieve, el viento dominante tiene frecuencia NE con una velocidad media de 2,6 m/seg el porcentaje de humedad relativa es de 79% y la tensión de vapor 11,6 milibars (Datos obtenidos del Boletín Climatológico del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Departamento de Meteorología de Junio de 1971.)
- k) Temperatura: Las variaciones de temperatura se consideran desde  $-3^{\circ}\text{C}$  (durante la noche) que corresponde a la temperatura mínima media, hasta  $21.2^{\circ}\text{C}$  (durante el día) que es la temperatura máxima media, con lo cual se tiene una temperatura promedio de  $13^{\circ}\text{C}$ .

- 1) Fuentes de interferencia: Practicamente no existe interferencia de origen eléctrico.

Caparimaloma

Merece indicar que hay ciertas condiciones y datos que fueron anotados para el sitio "Loma de la Mira" que son los mismos para "Caparimaloma" así como para "El Arrayán"; razón por la cual se darán únicamente los puntos en los que se diferencian.

- a) Localización: Tiene la siguiente posición geográfica

Altitud	:	3935	m	sobre el nivel del mar
Latitud	:	1°	30'	7" Sur
Longitud	:	78°	35'	31" Oeste

Con la siguiente referencia de posición a los 100 metros más cercanos en la carta topográfica NIV - 64 - Guano - 3889 II del Instituto Geográfico Militar.

- b) Accesibilidad: Puede llegarse con un vehículo tipo Jeep con un tiempo de 15 minutos desde Ilapo hasta el punto en que concluye el camino y de allí en 10 minutos hasta Caparimaloma.
- c) Camino: Ya se mencionó anteriormente para este sitio no es -

tá concluido el camino faltando unos 700 m , pero es posible -  
llegar hasta él en un vehículo tipo Jeep.

- d) Energía eléctrica: Es posible instalar un equipo de unos 2 Kw en el sitio mismo, lo cual sería más conveniente que llevar la energía desde Santa Terecita.
- e) Area: Se dispone de una superficie de 1000 metros cuadrados con siderados suficientes para edificación de torre y edificios.
- f) Condiciones del terreno: No existen obstáculos ya que este lugar es en la cima de una colina completamente despejada.

### El Arrayán

Este sitio a diferencia de los otros no tiene línea de vista a Riobamba, lo cual se conseguirá con una altura de antena conveniente de acuerdo a la necesidad.

- a) Localización: Las características geográficas de este punto -  
son las siguientes

Altitud	:	4000	m	sobre el nivel del mar
Latitud	:	1°	30'	32.76" Sur
Longitud	:	78°	36'	1.62" Oeste

Tienen las siguientes referencias de posición a los 100 m más cercanos en la carta topográfica NIV - C4 - Guano - 3889 - II del I.G.M. - 690335.

- b) **Accesibilidad:** Como puede apreciarse en la carta topográfica del IGM, este lugar es menos accesible que Caparimaloma, razón por la cual deben construirse aproximadamente unos 2.000-m de vía desde el punto en el que termina el camino para el sitio anterior.
- c) **Energía eléctrica:** Lo más conveniente para este sitio sería instalar una planta eléctrica en el lugar, la misma que sería controlada por una persona que viva en las cercanías.
- d) **Area:** La superficie es suficiente para los fines propuestos.
- e) **Condiciones del terreno:** El sitio está despejado para la construcción, pero presenta una dificultad, que no existe línea de vista a Riobamba la cual esta obstruida por una elevación denominada Igualata por lo cual sería necesario construir una torre de unos 80 m .

#### 2.4. CONSIDERACIONES SOBRE LA CURVATURA DE LA TIERRA

La determinación de la curvatura de la tierra es un factor impor-

tante cuando se está grafizando una carta de perfiles altimétricos, aun que si bien, la superficie de la tierra es curvada, la energía del rayo propagado tiende a viajar en línea recta, sin embargo el rayo se curva ligeramente una cierta cantidad debido a la refracción atmosférica, de acuerdo al mismo principio bien conocido de óptica, esto es: cuando un frente de ondas cruza la superficie de separación de dos medios diferentes en lo que se refiere a densidades; parte de la energía es reflejada (ángulo de incidencia = ángulo de reflexión) y parte es refractada en el segundo medio y en este la dirección de propagación de la onda refractada es diferente, a la del rayo incidente. La Fig. 2-1 muestra que una onda que se propaga en un medio de densidad uniforme y que alcanza el límite de separación con otro de densidad uniforme, es parcialmente-reflejada y parcialmente refractada.

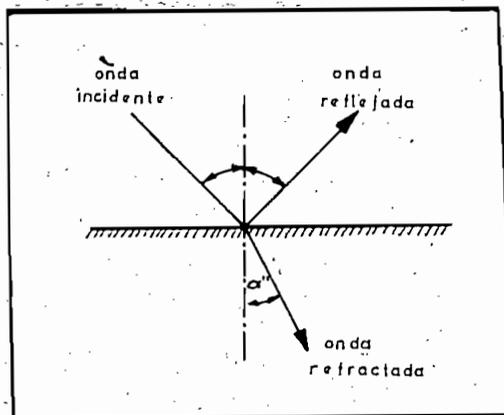


Fig. 2-1

Reflexión y Refracción de una Onda de Radio.

### 2.4.1 Radio Efectivo de la Tierra

La densidad de la atmósfera depende de su temperatura, presión y contenido de vapor de agua. Bajo condiciones normales los tres factores decrecen cuando se incrementa la altura sobre la tierra. En las capas más bajas, a una altura de aproximadamente 500 m , y por cada 100 m , la temperatura decrece en un promedio de  $0.65^{\circ}\text{C}$ , la presión atmosférica al rededor de 15 milibares y la presión de vapor cerca de 0.35 milibares; por lo tanto, la densidad del aire decrece con el incremento de altura sobre la tierra. Una onda electromagnética que pasa a través de diferentes capas y que tiene un decrecimiento de densidad es consecuentemente refractada hacia las capas más densas, esto es, hacia la tierra (Fig. 2-2)

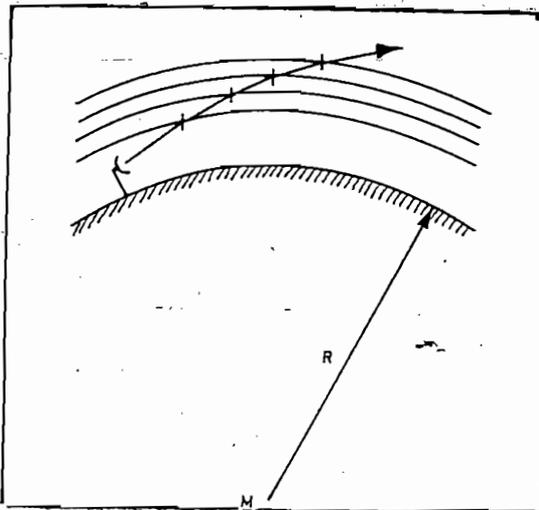


Fig. 2-2

Deflexión de una onda de radio hacia la superficie de la tierra

\* Ref: EBU - Radio - Relays for Television - Vol 1 y 2 - pag. 128

by E. Castelli (RAI)

De esta manera la onda radiada es propagada más allá del punto alcanzado en la superficie de la tierra por propagación rectilínea y por lo tanto el "Horizonte de Radio" es más distante que el "Horizonte Geométrico". Fig. 2-3

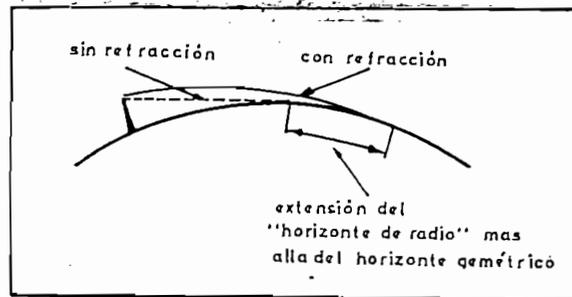


Fig. 2-3

### Extensión del "horizonte de radio"

La acción de retirada del horizonte de radio puede ser presentada como una propagación rectilínea sobre una tierra que tiene un radio virtual más grande que su radio real y es equivalente a este último multiplicado por un factor  $K$ , el cual tiene un valor que depende de las condiciones atmosféricas en el tramo o en la ruta.

Un valor medio de  $K = 4/3$ , corresponde a un radio de tierra virtual de 8493 Km, en lugar de 6370 Km, y ocurre normalmente entre un 50% y 70% del tiempo.

## 2.5 PREPARACION Y EXAMINACION DE LOS PERFILES DE RUTA

Para la examinación de los perfiles de una ruta, se requiere dibu-

jar los perfiles altimétricos del trayecto entre los posibles sitios y también deben ser dibujadas en los mismos las Elipses de Fresnel.

La curvatura relativa de la tierra puede ser expresada gráficamente ya sea como una tierra curva con radio  $K R_0$  ( $R_0$  = radio verdadero - de la tierra) y el haz como una línea recta, o a su vez como una tierra plana con un haz curvado por un valor de curvatura (Figs. 2-4a y 24b) .

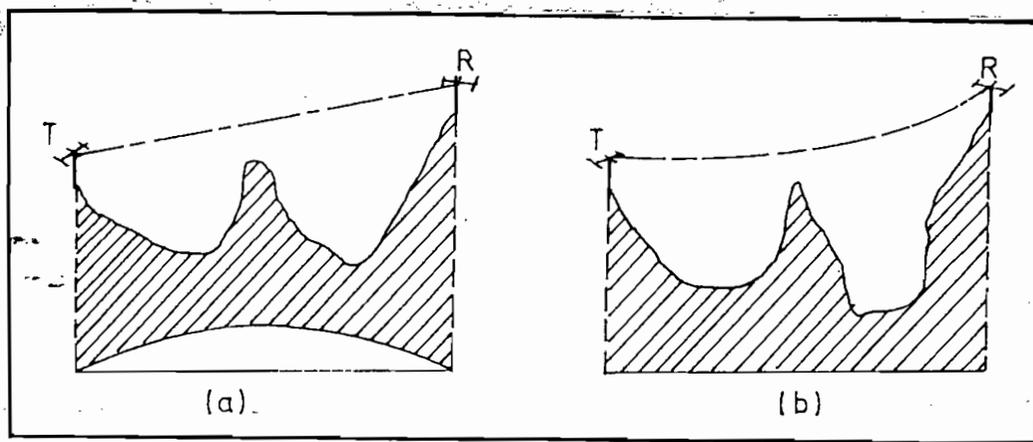


Fig. 2-4

- a) Tierra curva, haz recto      b) Tierra plana, haz curvo

De los dos métodos citados anteriormente, se ha considerado que el segundo procedimiento de dibujo es preferible, debido a las siguientes razones:

- 1) Permite la investigación e ilustración de las condiciones para varios valores de  $K$ , las mismas que se realizan sobre una misma carta.

- 2) Elimina la necesidad de papel especial para la curvatura de la tierra.
- 3) Se tiene mayor facilidad al dibujar el perfil altimétrico.

#### 2.5.1 Escala de perfil altimétrico de un trayecto

El gráfico de los perfiles tiene dos escalas, una horizontal que indica la distancia entre los lugares de un enlace y otra vertical que corresponde a las alturas sobre el nivel del mar. De acuerdo a las conveniencias o necesidades se toman los valores de cada una. Para el presente estudio se han considerado las siguientes escalas:

Escala Horizontal: 1 cm equivale a 5 Km de distancia (1:5000.000)

Escala Vertical : 1 cm equivale a 100 m de altura (1:10000)

#### 2.5.2 Construcción de los Perfiles

El procedimiento que se siguió para construir los perfiles de - las rutas en el presente estudio fue el siguiente:

- a) sobre mapas topográficos del I.G.M. de escala 1: 50.000 se ha dibujado una línea entre los sitios propuestos A y B, puntos que representan al transmisor en Quito y al receptor en uno de los sitios terminales cercanos a Riobamba y se midió la distancia d entre ellos, siendo aproximadamente 150 Km .

- b) Se tabularon las alturas sobre el nivel del mar, en varias distancias a lo largo de la línea desde el punto A hasta el punto B.
  
- c) De acuerdo al criterio anteriormente anotado, se eligió como el método más conveniente el de tierra plana y haz curvo y se dibujó sobre una lámina de papel los perfiles correspondientes.

Los perfiles altimétricos que han sido dibujados entre la estación transmisora en Quito y cada uno de los posibles sitios de repetición que son: "Loma de la Mira", "Caparimaloma" y "El Arrayán", los mismos que se muestran en las Figs. 2-5, 2-6 y 2-7 respectivamente, de acuerdo a las consideraciones anteriores, los datos para los perfiles mencionados se dan a continuación en las tablas 2-1, 2-2 y 2-3.

TABLA 2-1

Datos para la construcción de los Perfiles Altimétricos  
en el enlace " Quito - Loma de la Mira o Guaslán de Yanacocha "

Distancia (Km)	Altura (m)
0	3695
0.13	3600
0.80	3200
1.33	3400
2.82	3200
2.90	3200
3.77	3100
4.30	3100
4.85	3050
5.50	3000
5.93	2950
8.40	2800
9.21	2800
9.85	2800
11.00	2850
11.42	2850
11.93	2900
12.16	2950
12.52	3000
14.00	3050
14.10	3070
18.50	3050
20.00	3040
20.80	3000
21.00	2900

Distancia (Km)	Altura (m)
21.40	3000
21.80	3000
24.75	2800
26.65	2680
28.75	2800
30.45	2840
33.20	3000
33.70	3000
39.30	3000
41.00	3200
42.50	3400
43.65	3600
43.90	3660
44.45	3580
45.00	3400
45.40	3600
46.00	3600
46.55	3800
47.20	3800
47.55	3880
47.80	3950
48.45	3880
49.15	3840
49.50	3800
50.90	3600

Distancia (Km)	Altura (m)
52.90	3400
52.20	3400
56.50	3320
57.95	3320
61.60	3200
63.25	3160
65.20	3160
68.60	3200
70.30	3200
71.00	3200
73.60	3160
81.60	3000
83.10	3000
87.20	3200
87.60	3400
87.85	3520
88.10	3400
89.30	3200
90.00	3000
93.00	2800
98.45	2600
99.10	2680
99.35	2600
100.80	2600
102.10	2600
108.10	2600
108.45	2640
109.00	2600
109.30	2400
1109.45	2400
109.70	2600
111.20	2400
113.20	2600

Distancia (Km)	Altura (m)
118.50	2600
119.10	2400
120.85	2600
121.60	2680
122.40	2600
124.45	2600
125.90	2600
129.75	2800
131.10	3000
132.65	3200
133.65	3400
134.20	3520
134.50	3400
135.10	3400
135.50	3480
135.95	3400
137.45	3280
139.10	3220
140.00	3280
140.50	3400
140.00	3520
146.50	3600
147.65	3800
147.95	3858

TABLA 2 - 2

Datos para la construcción de los Perfiles Altimétricos  
en el enlace "Quito-Caparimalloma"

Distancia (Km)	Altura (m)	Distancia (Km)	Altura (m)
0.00	3695	25.90	2880
0.13	3600	29.35	2800
0.30	3200	30.20	2800
1.33	3450	31.00	2800
2.82	3200	33.20	2960
2.90	3200	37.50	2820
3.77	3100	40.00	3000
4.30	3100	41.35	3200
4.85	3050	41.90	3200
5.50	3000	42.95	3400
5.93	2950	43.20	3440
8.40	2800	43.40	3520
9.21	2800	44.10	3570
9.85	2800	44.45	3400
11.00	2850	45.00	3600
11.42	2850	45.90	3600
11.93	2900	45.75	3800
12.16	2950	47.80	3800
12.52	3000	47.90	3920
14.00	3050	48.45	3800
14.10	3070	50.20	3600
18.50	3050	53.00	3400
20.00	3040	56.00	3320
20.40	3040	58.50	3280
28.85	3000	60.00	3240
21.00	3000	62.20	3120
23.30	3000	68.75	3120
25.20	2800	70.45	3160

Distancia (Km)	Altura (m)
72.20	3160
73.20	3000
75.90	3080
77.75	3000
79.00	3000
80.40	2960
83.40	2920
86.00	2880
76.95	3000
57.75	3200
88.75	3320
89.00	3200
89.90	3000
92.50	2800
96.15	2720
99.65	2600
102.10	2600
103.10	2600
107.45	2600
109.30	2640
110.00	2600
110.80	2640
111.85	2600
114.10	2680
115.40	2600
118.10	2400
119.40	2400
121.70	2600
123.95	2680
126.10	2600
130.15	2800

Distancia (Km)	Altura (m)
132.50	3000
134.00	3200
134.50	3240
135.40	3180
136.75	3180
137.40	3200
139.50	3240
141.75	3400
142.90	3600
143.40	3690
144.60	3740
146.15	3600
147.75	3800
148.30	3800
147.95	3850
148.65	3840
148.75	3880
149.00	3935

TABLA 2 - 3

Datos para la construcción de los Perfiles Altimétricos en el enlace "Quito - El Arrayán"

Distancia (Km)	Altura (m)	Distancia (Km)	Altura (m)
0	3695	25.15	2800
0.14	3600	29.30	2800
0.80	3200	30.05	2800
1.33	3450	30.80	2800
2.82	3200	32.20	2840
2.90	3200	35.15	2840
3.77	3100	36.75	2880
4.30	3100	38.95	2920
4.85	3050	40.15	3000
5.50	3000	41.90	3200
5.93	2950	43.10	3400
8.40	2800	43.65	3400
9.21	2800	44.05	3400
9.85	2800	44.80	3400
11.00	2850	45.60	3600
11.42	2850	47.05	3800
11.93	2900	47.90	3800
12.16	2950	49.15	3600
12.52	3000	50.80	3480
14.00	3050	52.90	3400
14.10	3070	54.15	3360
18.50	3050	55.70	3280
20.00	3040	58.55	3240
20.75	3000	59.10	3200
22.05	3040	59.80	3200
23.05	3040	61.45	3200
23.90	3000	62.80	3080

Distancia (Km)	Altura (m)
65.80	3080
67.55	3080
68.95	3080
70.55	3080
72.25	3000
75.55	3040
76.75	3000
78.85	2920
82.05	3920
83.65	2880
85.90	2880
87.35	3000
88.90	2800
91.00	2800
93.15	2680
95.75	2720
98.90	2600
101.10	2660
102.55	2660
103.50	2600
105.75	2680
107.00	2680
109.25	2680
110.80	2680
112.65	2640
113.55	2600
115.58	2520
116.60	2400
117.85	2560
119.05	2600
121.55	2680
123.30	2720

Distancia (Km)	Altura (m)
125.60	2680
128.40	2880
130.00	2880
132.00	3000
133.00	3000
134.90	3120
136.30	3200
137.30	3240
138.90	3320
139.90	3400
141.20	3600
143.25	3720
144.80	3800
145.00	3800
145.42	3880
145.70	3960
145.97	4000

CAPITULO TERCERO

ELECCION DEL SITIO DONDE SE

UBICARA LA ESTACION

REPETIDORA

Para la elección más conveniente del sitio en el cual se instalará la estación repetidora, es necesario hacer un análisis de cada trayecto. Sobre los gráficos de los perfiles se traza el haz curvo y luego se determina la primera zona de Fresnel para analizar la forma en que el terreno influencia en la propagación, finalmente es necesario realizar mediciones de intensidad de campo eléctrico en los sitios mismos ya que estas contribuirán decididamente en la elección final del sitio.

El paso inicial para efectuar lo mencionado anteriormente, es determinar la curvatura del haz entre el transmisor y receptor. La ecuación que exige la curvatura del haz cuando se considera tierra plana es la siguiente:

$$h'_x = Y_1 - d_1 \frac{Y_2 - Y_1}{d} - h_x \quad (3 - 1)$$

Los significados de cada uno de los parámetros que intervienen en esta ecuación se indican en la Fig. 3-1.

$h'_x$  = altura desde la tierra plana al haz curvo a una distancia  $d_1$

$Y_1$  = altura sobre el nivel del mar del terminal T + altura del mástil de antena

$Y_2$  = altura sobre el nivel del mar del terminal R + altura del mástil de antena

- $d_1$  = distancia desde el terminal T hasta donde se calcula  $h_x$
- $d_2$  = distancia a la que se calcula  $h_x$  hasta el terminal R
- $d$  =  $d_1 + d_2$  = distancia total del trayecto
- $h_x$  = altura de elevación de la tierra

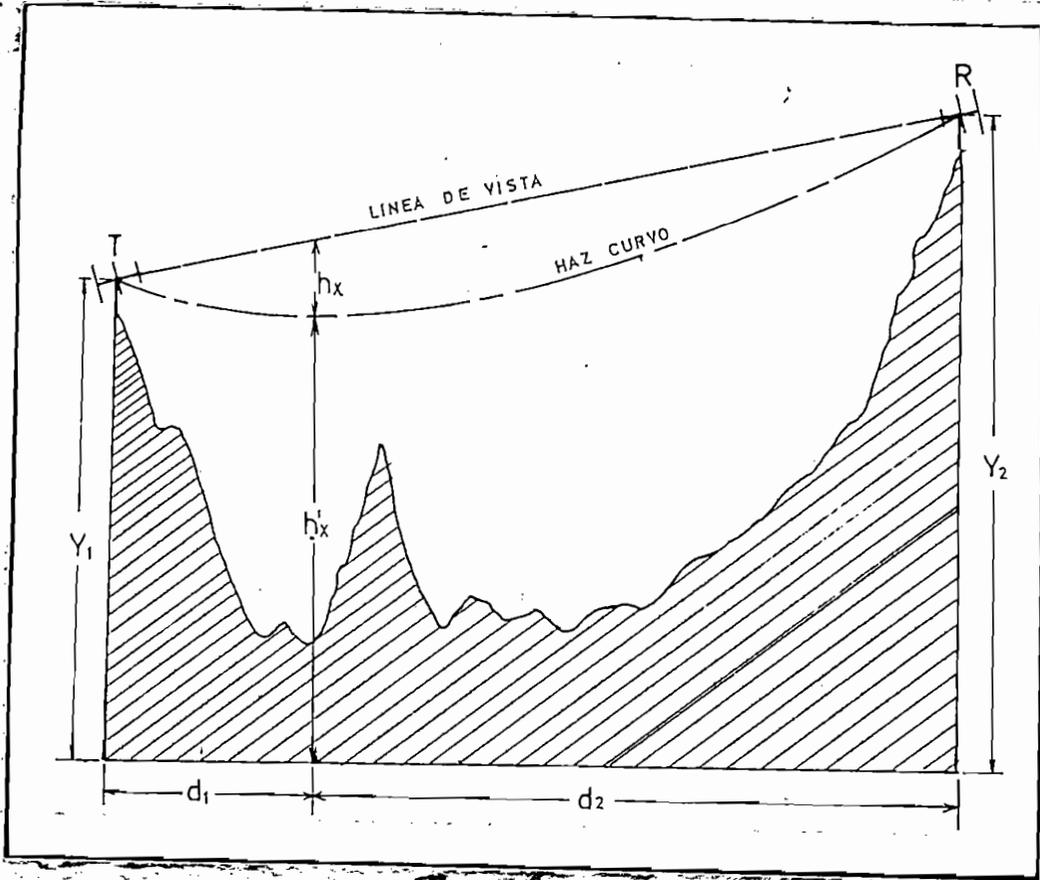


Fig. 54

Parámetro para determinar la curvatura del haz

El parámetro  $h_x$  viene dado por la siguiente fórmula:

De acuerdo a las consideraciones anteriormente mencionadas, es necesario tabular los diferentes valores para el cálculo del haz curvo en cada uno de los trayectos.

Para ilustrar la forma en que se han calculado estos valores, se presenta a continuación un ejemplo:

Trayecto "Quito - Loma de la Mira"

Datos:

$$Y_1 = (3695 + 20) \text{ m} = 3715 \text{ m}$$

$$Y_2 = (3858 + 25) \text{ m} = 3883 \text{ m}$$

$$d = 147,95 \text{ Km} \approx 148 \text{ Km}$$

$$d = d_1 + d_2$$

$$K = 4/3$$

Ejemplo del cálculo

$$d_1 = 5 \text{ Km}$$

$$d_2 = 143 \text{ Km}$$

$$hx = \frac{5 \times 143}{(4/3) 12.74}$$

$$h'x = 3715 + 5 \frac{3883 - 3715}{148} = 42.06 \text{ (m)}$$

$$h'x = 3678.72 \text{ m}$$

A continuación se presentan las tablas 3-1, 3-2 y 3-3 con los valores de  $h'x$  entre Quito y cada uno de los sitios considerados, valores que han sido calculados de acuerdo a los siguientes datos y con incrementos de distancia de 5 Km :

Enlace " Quito-Loma de la Mira "

$$K = 4/3$$

$$d = 148 \text{ Km}$$

$$Y_1 = (3695 + 20) \text{ m} = 3715 \text{ m}$$

$$Y_2 = (3858 + 25) \text{ m} = 3883 \text{ m}$$

Enlace " Quito - Caparimaloma "

$$K = 4/3$$

$$d = 149 \text{ Km}$$

$$Y_1 = (3695 + 20) = 3715 \text{ m}$$

$$Y_2 = (3935 + 25) = 3960 \text{ m}$$

Enlace " Quito - El Arrayán "

$$K = 4/3$$

$$d = 146 \text{ Km}$$

$$Y_1 = (3695 + 20) \text{ m} = 3715 \text{ m}$$

$$Y_2 = (4000 + 80) \text{ m} = 4080 \text{ m}$$

TABLA 3 - 1

VALORES PARA LA CURVATURA DE EL RAYO

ENLACE "UITO-LOMA DE LA MIRA"

$d_1$ ( Km )	$d_2$ ( km )	$h_x$ ( m )	$d_1 \frac{Y_2 - Y_1}{a}$ (m)	$h'x$ ( m )
5	143	42.06	5.68	3678.62
10	138	81.17	11.35	3645.18
15	133	117.35	17.03	3614.68
25	123	180.88	28.38	3562.50
30	118	208.24	34.05	3540.81
35	113	232.65	39.73	3522.08
40	108	254.12	45.40	3506.28
45	103	272.65	51.08	3493.43
50	98	288.24	56.78	3483.54
55	93	300.88	62.43	3476.55
60	88	310.59	68.11	3472.52
65	83	317.35	73.78	3471.43
70	78	321.18	79.46	3473.28
75	73	322.06	85.13	3478.07
80	68	320.00	90.81	3485.81
85	63	315.90	96.48	3496.48
90	58	307.06	102.16	3510.10
95	53	296.18	107.83	3526.65
100	48	282.35	113.51	3546.50
110	38	245.88	124.86	3593.98
115	33	223.24	130.54	3622.30
120	28	197.65	136.21	3653.56
125	23	169.12	141.89	3687.77
130	18	137.65	147.56	3724.91
135	13	103.24	153.24	3765.00
140	8	65.88	158.91	3808.08
145	3	25.59	164.60	3854.00

TABLA 3 - 2

VALORES PARA LA CURVATURA DEL HAZ ENTRE  
"QUITO" Y "CAPARIMALOMA"

$d_1$ (Km)	$d_2$ ( Km )	$h_x$ ( m )	$d_1 \frac{y_2 - y_1}{a}$ (m)	$h^*x$ ( m )
5	144	42.35	8.20	3680.85
10	139	81.76	16.40	3649.64
15	134	118.23	24.60	3621.37
20	129	151.76	32.80	3596.04
25	124	182.35	41.00	3573.65
30	119	210.00	49.20	3554.20
35	114	234.70	57.40	3537.70
40	109	256.47	65.60	3524.13
45	104	275.29	73.80	3513.51
50	99	291.17	82.00	3505.83
55	94	304.11	90.20	3501.09
60	89	314.11	98.40	3499.29
65	84	321.17	106.60	3500.43
70	79	325.29	114.80	3504.51
75	74	326.47	123.00	3511.53
80	69	324.70	131.20	3521.50
85	64	320.00	139.40	3534.40
90	59	312.35	147.60	3550.35
95	54	301.76	155.80	3569.04
100	49	288.23	164.00	3590.77
105	44	271.76	172.20	3615.44
110	39	252.35	180.40	3643.05
115	34	230.00	188.60	3673.60
120	29	204.70	197.07	3707.10
125	24	176.47	205.00	3743.53
130	19	145.29	213.20	3782.91
135	14	111.17	221.40	3825.23
140	9	74.11	228.60	3870.49

TABLA 3 - 3

VALORES PARA LA CURVATURA DEL HAZ  
"QUITO - EL ARAYAN"

$d_1$ (Km)	$d_2$ ( Km )	$h_x$ ( m )	$d_1 \frac{y_2 - y_1}{d}$ (m)	$h'x$ ( m )
5	144	41.47	12.50	3686.03
10	136	80.00	25.00	3660.00
15	131	115.58	37.50	3636.92
20	126	148.23	50.00	3616.77
25	121	177.94	65.50	3602.56
30	116	204.70	75.00	3585.30
35	111	228.52	87.50	3573.98
40	106	249.41	100.00	3565.69
45	101	267.35	112.50	3560.15
50	96	282.35	125.00	3557.65
55	91	294.41	137.50	3558.09
60	86	303.52	150.00	3561.48
65	81	309.70	162.50	3567.80
70	76	312.94	175.00	3577.06
75	71	313.25	187.50	3589.27
80	66	310.59	200.00	3604.42
85	61	306.00	302.50	3622.50
96	56	296.47	225.00	3643.53
95	51	285.00	237.50	3667.50
100	46	270.58	250.00	3694.42
105	41	253.23	272.50	3734.27
110	36	232.94	275.00	3757.06
115	31	209.70	287.50	3792.80
120	26	183.52	300.00	3831.48
125	21	154.41	312.50	3873.09
130	16	122.35	325.00	3917.65
135	11	87.35	337.50	3965.15
145	1	8.52	362.50	4068.98

### 3.1 CALCULO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL

Anteriormente se ha deducido la curvatura del haz y se han dado los valores para su construcción, queda ahora por determinar la elipse de Fresnel, la misma que será construida sobre este rayo curvo, esto hará posible analizar la forma como el terreno influencia en la propagación de la señal.

Para la derivación del cálculo del semi-eje menor "b" en el punto medio del trayecto se puede considerar la Fig. 3-2

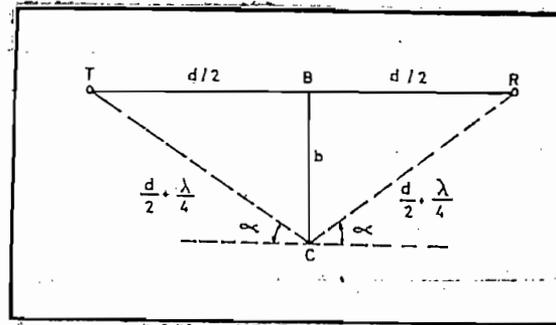


Fig. 3-2

Tomando en cuenta que el rayo reflejado en el borde de la primera zona de Fresnel, tiene un desfazamiento de  $\lambda/2$  con respecto al rayo directo, en la Fig. 3-2 se pueden hacer las siguientes estimaciones:

Considerando el triángulo rectángulo TBC:

$$b^2 = \left(\frac{d}{2} + \frac{\lambda}{4}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$b^2 = \frac{d^2}{4} - 2 \frac{d}{2} \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda^2}{16} - \frac{d^2}{4}$$

El término  $\frac{\lambda^2}{16}$  en la ecuación anterior puede ser considerado despreciable comparado con el resto de términos, por lo tanto:

$$\begin{aligned} b^2 &= \frac{d\lambda}{4} \\ b &= \frac{1}{2} \sqrt{d\lambda} \quad [m] \end{aligned} \quad (3-3)$$

En esta fórmula  $d$  y  $\lambda$  están expresadas en metros.

La elipse íntegra, puede ser encontrada como sigue:

- (1) Se divide cada una de las dos mitades de la línea de vista geométrica que dividen el haz en cuatro partes iguales, y luego se subdivide la mitad de los cuartos más cercanos a los terminales A y B en dos partes iguales, como se indica en la Fig. -

3 - 3

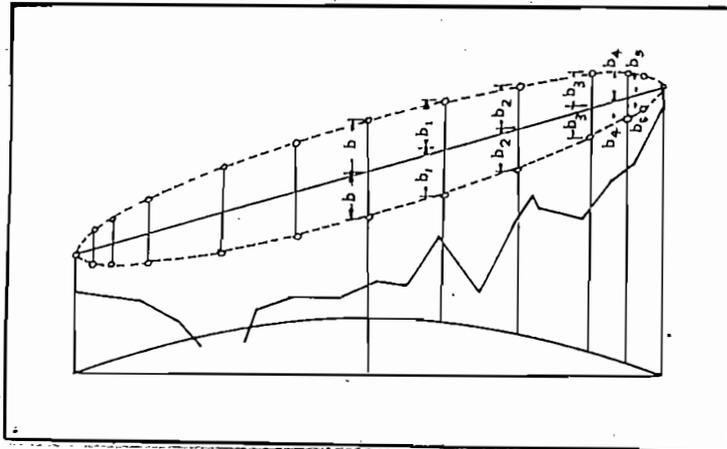


Fig. 3 - 3

Método de dibujar la primera zona de Fresnel

(2) Llamando a los semi-ejes en estos puntos  $b_1, b_2, b_3, b_4$  y  $b_5$  comenzando desde el punto medio del trayecto, los valores de estos semi-ejes vienen dados por:

$b$	=	semi-eje pequeño	$X$	=	distancia desde la <u>mi</u> dad del trayecto.
$b_1$	=	0.968 $b$	$X_1$	=	0.25 $X$ ( $1/4 X$ )
$b_2$	=	0.866 $b$	$X_2$	=	0.50 $X$ ( $1/2 X$ )
$b_3$	=	0.662 $b$	$X_3$	=	0.75 $X$ ( $3/4 X$ )
$b_4$	=	0.484 $b$	$X_4$	=	0.87 $X$ ( $7/8 X$ )
$b_5$	=	0.348 $b$	$X_5$	=	0.93 $X$ ( $15/16 X$ )

(3) Se unen estos puntos, obtenidos por la fórmula o por el monograma de la Fig. 3 -4 y en esta forma se tiene la elipse de Fresnel.

Si se requiere el valor del semi-eje en cualquier otro punto se puede usar la siguiente expresión:

$$b_x = 31.6 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2 \cdot \lambda}{d}} \quad [m] \quad (3 - 4)$$

donde  $d_1$  y  $d_2$  son las distancias en Km a los puntos en cuestión desde los terminales A y B respectivamente, de está expresado en Km y  $\lambda$  en metros.

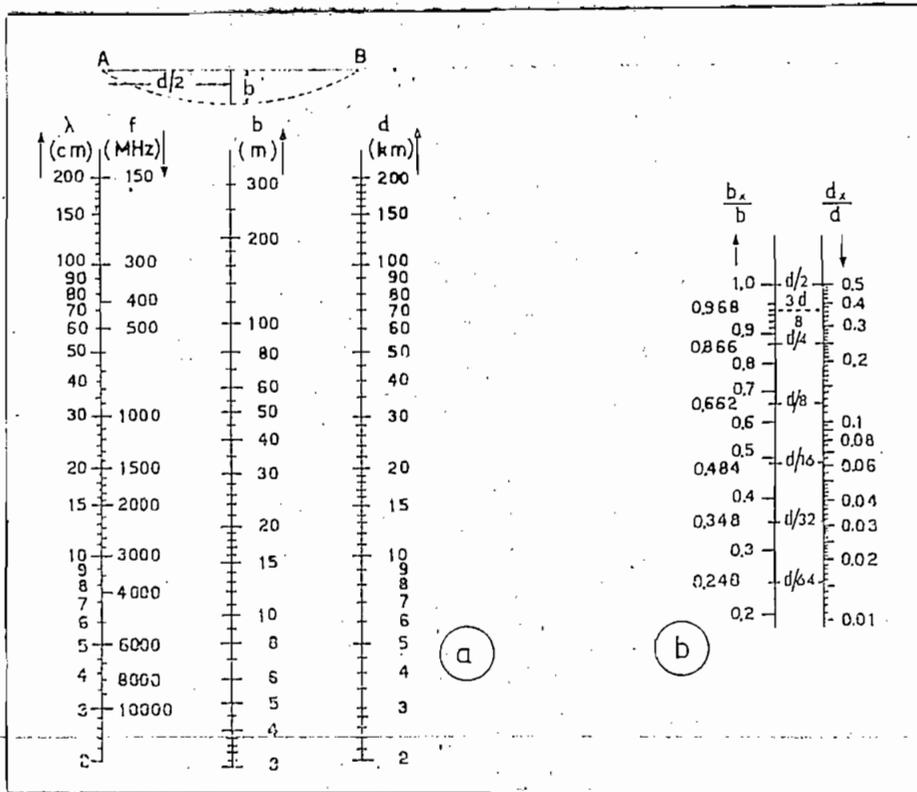


Fig. 3 - 4

Nomograma para la determinación de los semi-ejes de la primera elipse de Fresnel. (a) Semi-eje B en el punto medio como una función de la frecuencia (o longitud de onda) y la distancia - entre las estaciones. (b) Los semi-ejes  $b_x$  a una distancia  $d_x$  de la estación.

La fórmula ( 3 - 4 ) puede también ser expresada en la siguiente manera:

$$b_x = 547 \sqrt{\frac{d_1 (Km) \cdot d_2 (Km)}{d (Km) \cdot f (MHz)}} \quad [m] \quad (3 - 5)$$

De acuerdo a los datos para cada ruta, la ecuación ( 3 - 5 ) puede ser deducida en cada caso como se expone a continuación:

(1) Enlace "Quito - Loma de La Mira"

$$d = 147.95 \text{ Km} \approx 148 \text{ Km}$$

$$f = 181.25 \text{ MHz} \quad (\text{frecuencia de video})$$

La ecuación ( 3 - 5 ) para este enlace es la siguiente

$$b_x = 3.34 \sqrt{d_1(\text{Km}) \cdot d_2(\text{Km})} \quad [m] \quad (3 - 6)$$

(2) Enlace "Quito - Caparimaloma"

$$d = 149 \text{ Km}$$

$$f = 181.25 \text{ MHz}$$

La ecuación ( 3 - 5 ) para este enlace es:

$$b_x = 3.32 \sqrt{d_1(\text{Km}) \cdot d_2(\text{Km})} \quad [m] \quad (3 - 7)$$

(3) Enlace "Quito - El Arrayán"

$$d = 145.95 \text{ Km} \approx 146 \text{ Km}$$

$$f = 181.25 \text{ MHz}$$

Entonces la ecuación ( 3 - 5 ) para este enlace viene dado por

$$b_x = 3.36 \sqrt{d_1(\text{Km}) \cdot d_2(\text{Km})} \quad [m] \quad (3 - 8)$$

Los resultados de la evaluación de las tres rutas propuestas se dan a continuación en las tablas 3-4, 3-5 y 3-6 y los gráficos correspondientes a la primera zona de Fresnel se muestran en las Figs. 3-5, 3-6, y 3-7.

Es necesario indicar que los cálculos anteriores para los semiejes de la primera zona de Fresnel han sido realizados en base a la frecuencia de video, esto obedece a que la señal de video está modulada en amplitud (AM) a diferencia de la señal de audio que está modulada en frecuencia (FM). La modulación en amplitud es afectada en la propagación por los diferentes factores que intervienen en el espacio entre la antena de transmisión y recepción, además una señal de video tiene un ancho banda bastante grande con respecto a la señal de audio siendo en esta forma más factible que sea afectada por interferencias, ruidos, etc. Por otra parte una señal de video en lo que respecta a su estructura es más compleja, ya que la modulación de la portadora de imagen se hace en base a las señales de imagen como a los pulsos de sincronismo, en cambio una señal de audio modulada en FM puede ser afectada por la propagación pero en forma casi despreciable, las pequeñas variaciones de la señal al ser detectadas en el receptor son eliminadas en el circuito limitador y en esta forma se tiene una señal audible de buena calidad, y en lo que respecta al ruido es menor en este tipo de modulación teniéndose una mejor relación s/n.

De acuerdo a estas consideraciones los cálculos posteriores se harán también en función de la frecuencia de video.

TABLA 3 - 4

DATOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ZONA DE FRENEL EN EL ENLACE

"QUITO - LOMA DE LA MIRA"

$d_1$ ( Km )	$d_2$ ( Km )	$d_1 \cdot d_2$	$\sqrt{d_1 \cdot d_2}$	$b_x$
5	143	715	26.73	89.31
10	138	1380	37.14	124.07
20	128	2560	50.29	168.97
30	118	3540	59.49	198.70
40	108	4320	65.72	219.50
50	98	4900	70.00	233.80
60	88	5280	72.66	242.68
70	78	5460	73.89	246.79
80	68	5440	73.75	246.33
90	58	5220	72.24	241.28
100	48	4800	69.28	231.40
110	38	4180	64.65	215.93
120	28	3360	57.96	193.59
130	18	2340	48.37	161.56
140	8	1120	33.46	111.76
145	3	429	20.75	69.17

TABLA 3 - 5

DATOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL PARA EL ENLACE

" QUITO - CAPARIMALOMA "

$d_1$ ( Km )	$d_2$ ( Km )	$d_1+d_2$	$\sqrt{d_1 \cdot d_2}$	$b_x$
5	144	720	26.83	89.08
10	239	1390	37.28	123.77
20	129	2580	50.79	168.62
30	119	3570	59.74	198.34
40	109	4360	66.03	219.22
50	99	4950	70.35	233.56
60	89	5340	73.07	242.59
70	79	5530	74.36	246.88
80	69	5520	74.29	246.64
90	59	5310	72.86	241.90
100	49	4900	70.00	232.40
110	39	4290	65.49	217.43
120	29	3480	58.99	195.85
130	19	2470	49.70	163.51
140	9	1260	35.40	117.83
145	4	580	23.60	78.35

TABLA 3 - 6

DATOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL PARA EL ENLACE  
" QUITO - EL ARRAYAN "

$d_1$ (Km)	$d_2$ (Km)	$d_1 \cdot d_2$	$\sqrt{d_1 \cdot d_2}$	$b_x$
5	141	705	26.55	89.21
10	136	1360	36.87	123.88
20	126	2520	50.19	168.64
30	117	3480	58.99	198.21
40	106	4240	65.11	218.77
50	96	4800	69.28	232.78
60	86	5160	71.83	241.35
70	76	5320	72.93	245.04
80	66	5280	72.66	244.14
90	56	5040	70.99	238.53
100	46	4600	67.82	227.88
110	30	3960	62.92	211.41
120	26	3120	55.85	187.66
130	16	2080	45.60	153.22
140	6	840	28.98	97.37
145	1	145	12.04	40.45

### 3.2 MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO

Después de determinar la primera zona de Fresnel y como ya se indicó anteriormente, es necesario tener los valores de las mediciones de intensidad de campo eléctrico.

En los tres sitios elegidos como alternativa, donde posiblemente se instalará la estación repetidora, se han realizado las correspondientes mediciones de intensidad de Campo eléctrico por varias ocasiones en diferentes fechas y horas siendo estas uno de los factores importantes para determinar la elección del sitio.

Debido a que la relación entre las portadoras de Video y de Audio no cumple con los requerimientos técnicos necesarios, esto es que la portadora de video debe estar 6 dB más arriba de la portadora de audio obedeciendo posiblemente esta anomalía a un desajuste en los equipos transmisores; los valores de las señales han sido consideradas como insuficientes para que se pueda retransmitir la señal satisfactoriamente, esto puede observarse de los cuadros de valores de intensidad de campo que se dan más adelante.

Para las mediciones indicadas se ha utilizado el siguiente equipo:

FIELD STRENGTH METER ARM-5705C RECEIVER SERIAL,

NO M 42284 DATE DEC. 1.969

ANRITSU ELECTRIC CO. LTDA. TOKIO JAPAN

FIELD STRENGTH METER ARM - 5705 C SIGNAL GENERATOR  
SERIAL No M 42284 DATE DIC 1.969  
ANRITSU ELECTRIC CO. LTDA. TOKIO JAPAN

La antena que dispone este equipo es un dipolo con una altura de 4.6 metros sobre el suelo, a pesar de esto las mediciones se realizaron con variaciones de altura hasta de 10 metros sobre el nivel del suelo de acuerdo a la recomendación 417-2 del CCIR, pero debe indicarse que estos 10 metros tienen importancia solamente cuando las mediciones se realizan en zonas pobladas y las señales pueden ser interferidas por obstáculos tales como: edificios, líneas de transmisión, elevaciones, etc.; pero en zonas completamente despejadas como los sitios en que se realizaron las mediciones prácticamente los valores de intensidad de campo permanecen invariables en las diferentes alturas de antena.

Por otra parte, las especificaciones técnicas de este equipo establecen que los valores de intensidad de campo eléctrico medidos en los instrumentos están compensado para las pérdidas en cable, alimentación, acopladores, etc. y está descontada además la ganancia de antena, obteniendo en esta forma la medida de campo eléctrico con referencia al espacio libre.

Los datos obtenidos en las mediciones de campo eléctrico, tanto de las señales de video como de las audio en diferentes fechas y horas, se dan en la tabla 3 - 7, en la cual las mediciones No 1 y 2 son valores promedio, las mediciones No 3 y 4 se han realizado en valores pico para la -

señal de video y en valor promedio para la señal de audio, además debe indicarse que en el sitio denominado "El Arrayán" se hicieron mediciones en dos lugares diferentes separados por unos 100 m denominando así Arrayán (1) y Arrayán (2). Para las mediciones NQ 4 en forma similar se hicieron en tres puntos diferentes tanto para "Caparimaloma" como para "Loma de Mira".

TABLA 3 - 7

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

Medición No	Fecha y hora	Lugar	E Video dBu	E Audio dBu	
1	X-9-71 16:30	La Mira	45	43.5	
			43	43.0	
			44	42.0	
2	XII-17-71 15:35	Caparimaloma	37.2	32.2	
		(El Mirador)	38	33.9	
	16:55	Arrayán (1)	51	50.6	
			50.7	50.0	
	17:15	Arrayán (2)	52	51.0	
			51.9	51.2	
18:05	La Mira	42.8	41.7		
		42.7	41.1		
3	II-9-72 16:30	Caparimaloma	44	48.1	
			46.9	50.2	
4	V-30-72 12:30	Caparimaloma 1	34.2	33	
		" 2	38.0	32.7	
		" 3	42.6	46.2	
	15:00	La Mira	1	40	40
			2	40.7	42.2
			3	43.8	45.0

Es necesario establecer si estos valores de intensidad de campo eléctrico son suficientes para que la señal pueda ser repetida y protegida de otras fuentes que pueden interferirla.

Para relacionar estos valores con recomendaciones internacionales se dá a continuación los requerimientos del CCIR cuya recomendación se anota a continuación:

Recomendación 417-2

Intensidad de campo mínima que puede ser necesario proteger al establecer los planes de un servicio de televisión.

El CCIR recomienda que al establecer el plan de un servicio de televisión en una de las bandas I, III, IV o V se prevea un valor medio de la intensidad de campo protegido contra las interferencias, no inferior en ningún caso a:

Banda	I	III	IV	V
dB con relación a $1 \frac{\mu V}{m}$	48	55	65	70

Estos valores representan la intensidad de campo a un nivel 10 metros sobre el suelo.

El canal 8 de televisión comprendido en la banda III, de acuerdo a esta recomendación debe tener una intensidad de campo mínima de -

55 dB medidos en el sitio en que se instalará la estación repetidora , pero se puede concluir de los diferentes valores medidos en los tres si tios que ninguno cumple con este requisito.

Debe indicarse sinembargo que estas recomendaciones del CCIR son para establecer enlaces que van a formar parte de un circuito interna - cional o para formar una cadena nacional, por otra parte el CCIR reco - mienda que cuando se desea un servicio de televisión en zonas poco po - bladas los valores son más accesibles y estos se dan en el informe - 409-1, en el mismo que se adopta para esta banda un valor de 49 dB.

La intensidad de campo, que debe protegerse para un servicio de te levisión como es el del presente caso, depende también de las normaliza - ciones internas de cada país; pero desgraciadamente en nuestro país no existe todavía tal normalización.

### 3.3 CALCULO DE LA ATENUACION POR OBSTACULO

Después de haber establecido las tres rutas, con sus respectivos - perfiles altimétricos, determinando por otra parte la primera zona de Fresnel, se debe analizar cada uno de estos enlaces para investigar la forma en que el terreno interviene en el enlace.

Se puede observar en las Figs. 3-5, 3-6 y 3-7 que un pico de monta ña denominado "Rumiñahui" se encuentra interfiriendo la línea de vista-

y consecuentemente a la primera zona de Fresnel, en esta forma no existe una propagación por línea de vista sino por "difracción" en el pico del "Rumiñahui" efecto conocido como "filo de navaja" mencionado anteriormente.

Muchos estudios han sido realizados para estos casos de enlaces por "difracción" en picos de montañas en el rango de VHF encontrándose ventajas, las que fueron indicadas en el capítulo primero en el párrafo 1.3

Por esta razón es necesario evaluar la atenuación  $A$  ( $v$ ) debida al obstáculo en cada uno de los enlaces.

Usando los resultados basados en la óptica física y en el análisis de Fresnel y Kirchhoff el parámetro de atenuación  $v$  viene expresado como:

$$v = \sqrt{\frac{2d}{\lambda} \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \beta_0} \quad (3-9)$$

Los parámetros de la ecuación 3 - 9 se observan en la Fig. 3 - 8 donde  $v$  es positivo cuando  $\alpha_0$  y  $\beta_0$  son positivos y  $v$  es negativo si  $\alpha_0$  y  $\beta_0$  son negativos.

---

\* Ref: Proceeding I.R.E. AUGUST 1, 1968 "Large Reductions of VHF Transmission Loss and Fading by the presence of Mountain Obstacle ; Beyond Line of Sight Paths"

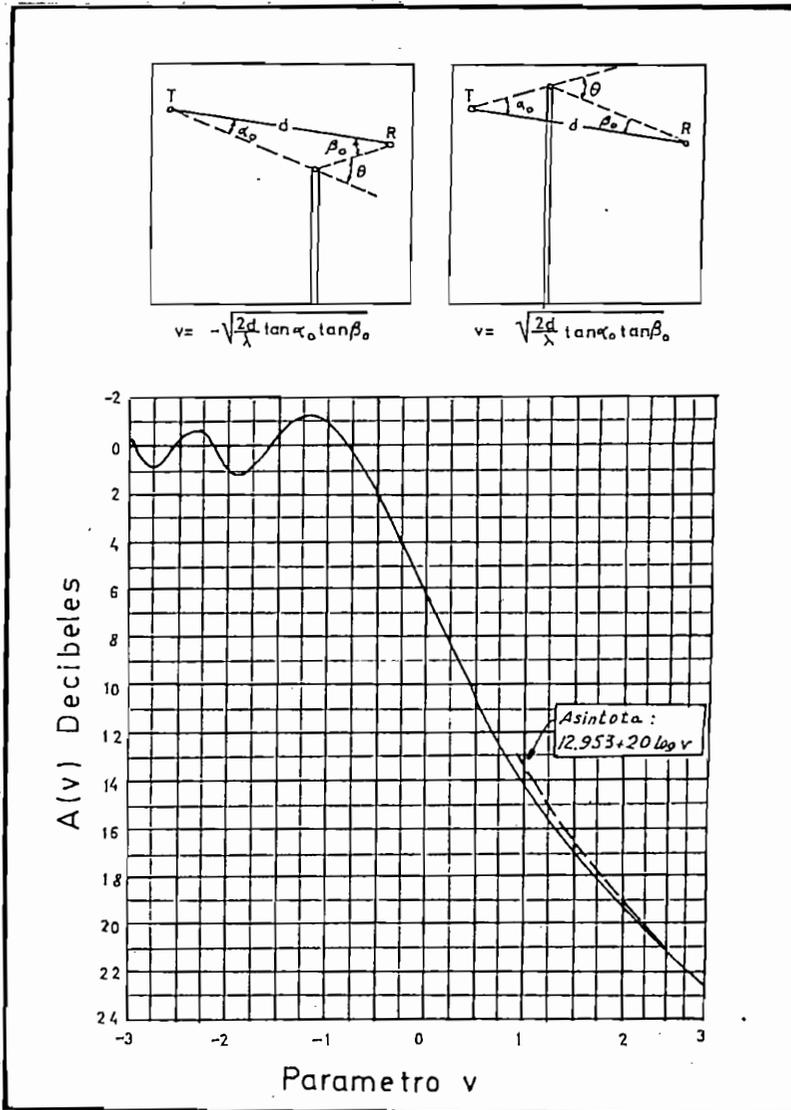


Fig. 3 - 8

El parámetro A (v) usado en difracción por "filo de navaja"

La atenuación debido al efecto "filo de navaja" A (v) puede ser expresado como sigue:

$$A(v) = -10 \log \frac{1}{2} \left[ \left( \int_v^{\infty} \cos \frac{\pi x^2}{2} dx \right)^2 + \left( \int_v^{\infty} \sin \frac{\pi x^2}{2} dx \right)^2 \right] \quad (3 - 10)$$

A (v) está dado gráficamente en la misma Fig. 3 - 8 como una función de v . La fórmula para las pérdidas básicas de propagación desde el transmisor al receptor a través del pico despreciando los efectos de reflexión de la tierra en ambos lados del pico, pueden ser escritas como:

$$a = 32.45 + 20 \log d \text{ (Km)} + 20 \log f \text{ (MHz)} + A(v) \quad (3 - 11)$$

Cuando v es suficientemente grande, es decir:

$$v > 3, \text{ entonces}$$

$$A(v) = 12.953 + 20 \log v \quad (3 - 12)$$

Cuando esto es sumado con las pérdidas de propagación del espacio-libre se tiene la siguiente expresión para las pérdidas básicas de propagación por un "filo de navaja".

$$a = 30 \log d \text{ (Km)} + 30 \log f \text{ (MHz)} + 10 \log \alpha_0 + 10 \log \beta_0 + 55.763$$

$$\frac{d}{\lambda} \operatorname{tg} \alpha_0 \operatorname{tg} \beta_0 > 4 \quad (3 - 13)$$

La ecuación anterior es aplicada solamente cuando:

Además las ecuaciones 3-10, 3-11 y 3-13 se espera que sean útiles solamente cuando:

$$d \gg \lambda, \quad \text{tg } \alpha_0 \ll 1 \quad \text{y} \quad \text{tg } \beta_0 \ll 1$$

Se tiene que  $\theta = \alpha_0 + \beta_0$  y cuando  $\alpha_0 = \beta_0$  y estos ángulos son suficientemente pequeños tal que las tangentes pueden ser reemplazadas por los ángulos, entonces se obtiene la siguiente expresión:

$$a = 30 \log d \text{ (km)} + 30 \log f \text{ (MHz)} + 20 \text{ Log } + 49.742 \quad (3 - 14)$$

De acuerdo a las consideraciones anteriores es necesario evaluar los ángulos  $\alpha_0$  y  $\beta_0$  para con ellos determinar la atenuación por difracción en el obstáculo A (v).

Para determinar los ángulos  $\alpha_0$  y  $\beta_0$  en todos los enlaces, se considera la Fig. 3 - 9

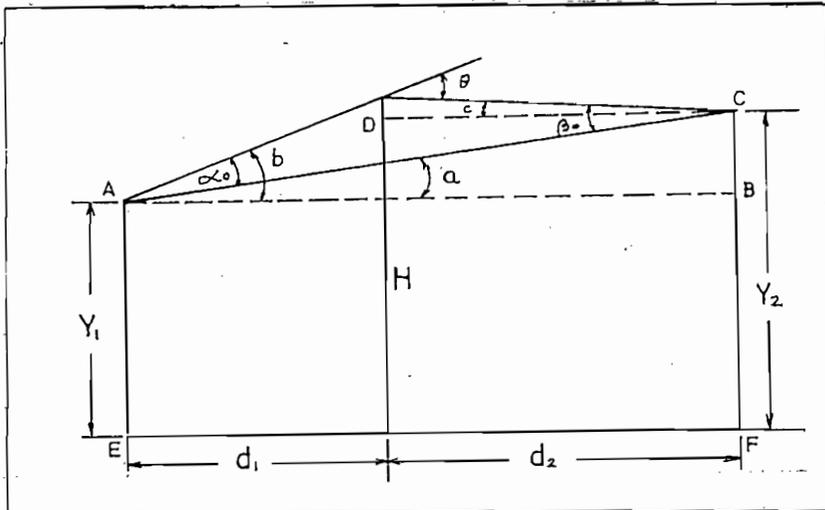


Fig. 3 - 9

En esta figura se tiene que las líneas auxiliares  $DC$ ,  $AB$  y  $EF$  son

paralelas entre sí, por otra parte se cumple que:

$$\angle \alpha_0 = \angle b - \angle a$$

$$\angle \beta_0 = \angle c + \angle a$$

Los ángulos a, b y c pueden ser calculados en los triángulos rectángulos correspondientes, determinando la tangente en cada caso:

$$\text{tag } a = \frac{Y_2 - Y_1}{d}$$

$$\text{tag } b = \frac{H - Y_1}{d_1}$$

$$\text{tg } c = \frac{H - Y_2}{d_2}$$

A continuación se hace el cálculo de los ángulos  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  y A ( $v$ ) en cada uno de los enlaces.

(1) Enlace "Quito - Loma de la Mira"

$$d = 148 \text{ Km}$$

$$d_1 = 47.8 \text{ Km}$$

$$d_2 = 100.2 \text{ Km}$$

$$Y_1 = 3.715 \text{ m}$$

$$Y_2 = 3.883 \text{ m}$$

$$H = h_{\text{pico}} + h_x$$

$$= 3950 \text{ m} + 282 \text{ m}$$

$$= 4232 \text{ m}$$

$$= 1.65 \text{ m}$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{Y_2 - Y_1}{d} = \frac{168}{148 \times 10^3} = 1.13 \times 10^{-3}$$

$$\operatorname{tg} b = \frac{H - Y_1}{d_1} = \frac{517}{47.8 \times 10^3} = 10.8 \times 10^{-3}$$

$$\operatorname{tg} c = \frac{H - Y_2}{d_2} = \frac{349}{100.2 \times 10^3} = 3.45 \times 10^{-3}$$

Como los ángulos son pequeños se pueden hacer la consideración mencionada de que la tangente es igual al ángulo expresado en radianes, de acuerdo a esto se tiene:

$$a = 1.13 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$b = 10.8 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$c = 3.45 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= b - a \\ &= 9.67 \times 10^{-3} \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_0 &= a + c \\ &= 4.58 \times 10^{-3} \text{ rad} \end{aligned}$$

Por las mismas consideraciones anteriores se tiene que:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \alpha_0$$

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \beta_0$$

Para determinar la atenuación  $A(\nu)$  se determina primero el parámetro  $\nu$  de acuerdo a la ecuación 3 - 9

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 148 \times 10^3}{1.65} \times 9.67 \times 10^{-3} \times 4.58 \times 10^{-3}}$$

$$v = 2.82$$

De acuerdo al gráfico de la Fig. 24 se tiene que

$$A(v) = 22 \text{ dB}$$

(2) Enlace "Quito - Caparimaloma"

$$d = 149 \text{ Km}$$

$$d_1 = 47.8 \text{ Km}$$

$$d_2 = 101.2 \text{ Km}$$

$$Y_1 = 3.715 \text{ m}$$

$$Y_2 = 3.960 \text{ m}$$

$$H = 4208 \text{ m}$$

$$\text{tg } a = \frac{245}{149 \times 10^3} = 1.64 \times 10^{-3}$$

$$\text{tg } b = \frac{493}{47.8 \times 10^3} = 6.13 \times 10^{-3}$$

$$\text{tg } c = \frac{248}{101.2 \times 10^3} = 2.45 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_0 = (6.13 - 1.65) \times 10^{-3} = 4.49 \times 10^{-3}$$

$$\beta_0 = (1.65 + 2.45) \times 10^{-3} = 4.09 \times 10^{-3}$$

Por lo tanto el parámetro  $v$  :

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 149}{1.65} \times 10^3 \times 4.49 \times 10^{-3} \times 4.09 \times 10^{-3}}$$

$$v = 1.84$$

Del gráfico de la Fig. se tiene :

$$A(v) = 18.6 \text{ dB}$$

(3) Enlace "Quito - El Arrayán"

$$d = 146 \text{ Km}$$

$$d_1 = 47.5 \text{ Km}$$

$$d_2 = 98.5 \text{ Km}$$

$$Y_1 = 3715 \text{ m}$$

$$Y_2 = 4080 \text{ m}$$

$$H = 4088$$

$$\text{tg } a = \frac{365}{146 \times 10^3} = 2.5 \times 10^{-3}$$

$$\text{tg } b = \frac{373}{47.5 \times 10^3} = 7.85 \times 10^{-3}$$

$$\text{tg } c = \frac{8}{98.5 \times 10^3} = 0.081 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_0 = (7.85 - 2.50) \times 10^{-3} = 5.35 \times 10^{-3}$$

$$\beta_0 = (2.5 + 0.08) \times 10^{-3} = 2.58 \times 10^{-3}$$

El parámetro  $v$  es:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 146}{1.65} \times 10^3 \times 5.35 \times 10^{-3} \times 2.58 \times 10^{-3}}$$

$$v = 1.56$$

Del gráfico de la Fig. se tiene que:

$$A(v) = 17.2 \text{ dB}$$

### 3.4 ANALISIS Y ELECCION DEL SITIO

Para evaluar el mejor trayecto se ha calculado en el párrafo anterior las respectivas atenuaciones  $A(v)$  para cada uno de los enlaces en contrándose que la mejor situación se presenta entre Quito y el sitio - "El Arrayán"; pero este lugar no es el más conveniente en vista de que presenta dificultades de acceso como se puede observar de los datos correspondientes a los sitios, además no existe línea de vista entre este punto y la ciudad de Shobamba, siendo por lo tanto necesario instalar una torre de antena de aproximadamente 80 m , lo cual es inconveniente - por el costo de la misma.

La configuración del obstáculo debe ser puntiaguda para que la comunicación sea satisfactoria caso contrario se tendría una gran atenuación y al respecto la mejor situación se presenta en el enlace "Quito-Caparimaloma", por otra parte en este trayecto la atenuación  $A(\gamma)$  es menor que para el enlace "Quito - Loma de la Mira".

Las mediciones de intensidad de campo eléctrico son similares en los dos sitios por estas razones se considera el lugar más conveniente para la instalación de la estación repetidora al sitio de "Caparimaloma" sin descartar la posibilidad de que puede también establecerse la repetidora en el sitio "Loma de la Mira".

Por lo expuesto anteriormente los cálculos y consideraciones posteriores se harán para el sitio "Caparimaloma", tomando en cuenta que para "Loma de la Mira" la situación es muy similar.

CAPITULO CUARTO

CALCULO DEL ENLACE

Varios problemas deben ser resueltos antes de diseñar el equipo de radio que será instalado en la estación repetidora y entre estos, se puede citar la atenuación total de transmisión, el nivel de la señal recibida y la relación señal - ruido que justamente es lo que determina la calidad de una comunicación radio eléctrica.

Es por lo tanto necesario evaluar cada uno de estos parámetros y primeramente se determinará la atenuación total de transmisión entre "Quito y Caparimaloma".

#### 4.1 ATENUACION DE TRANSMISION

La Fig. 4 - 1 dada a continuación especifica la distribución de la atenuación en un trayecto.

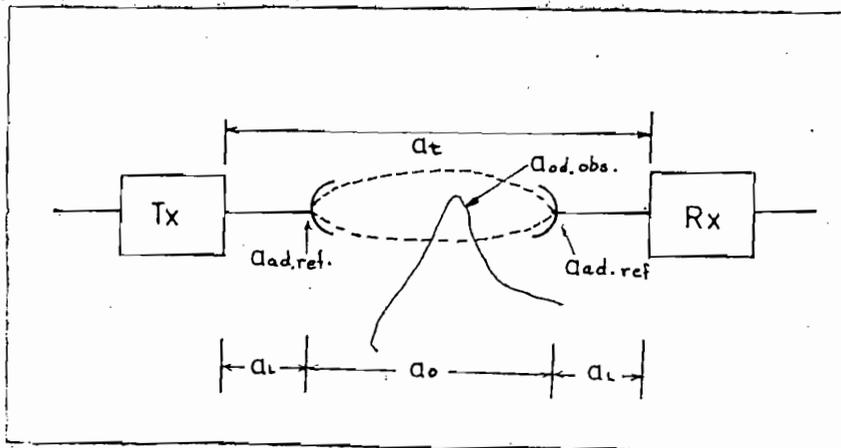


Fig. 4 - 1

Componentes de la atenuación

De acuerdo a esta figura se tiene:

$a_t$  = Atenuación de la transmisión entre transmisor y receptor

$a_o$  = Atenuación del espacio libre

$a_1$  = Atenuación de la línea de transmisión incluyendo atenuación por filtros, acopladores, etc.

$a_{ad.ref.}$  = Atenuación adicional por adaptación incompleta de la antena

$A(v)$  = Atenuación adicional por obstáculo

$g$  = Ganancia de antena (relacionada al radiador isotrópico - con un factor = 1, equivalente a 0 dB)

La atenuación total  $a_t$  se mide entre los terminales de salida del transmisor y los terminales de entrada del receptor, la misma que es - tá constituida por los siguientes sumandos:

$$a_t = a_o + a_1 + a_{ad.ref.} + A(v) - (g_1 + g_2) \quad (4 - 1)$$

En esta ecuación  $g_1$  y  $g_2$  vienen a constituir las ganancias de antenas, transmisora de Quito y receptora en el sitio de repetición.

Es necesario hacer el análisis de cada uno de los parámetros de la ecuación (4 - 1), previa al cálculo de los mismos:

a) Atenuación de espacio libre  $a_o$

La atenuación de espacio libre se mencionó ya en el capítulo primero en el cual se estableció la fórmula ( 1 - 4 ) para el cálculo de la misma; esto es :

$$a. = 32.45 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Km)}$$

b) Atenuación del cable de alimentación

El tipo de línea de alimentación utilizada para este rango de frecuencias es generalmente cable coaxial y la atenuación de este viene dada generalmente en dB/m; de acuerdo a las especificaciones del fabricante se pueden obtener estos valores, para el presente caso se ha elegido uno de los cables coaxiales más generalmente usado que es el tipo denominado RG-17A/U, el mismo que tiene las siguientes características técnicas:

Rango de temperatura	30 °C a 60 °C
Aislante de Polietileno	
Peso	0.49 lbs/pie
Capacitancia nominal	29.5 uuF/pie
Voltaje máximo de operación	11 KV (rms)
Atenuación por metro	0.46 dB/m
Impedancia	75 $\Omega$

c) Atenuación adicional adaptación incompleta de antena

Esto se refiere a posibles irregularidades en el acoplamiento de antena y atenuación por filtros, acopladores, etc. y generalmente se -

ha tomado 2 dB para un enlace de esta magnitud.

d) Atenuación adicional por obstáculo A (v)

Esta atenuación obedece a la presencia del obstáculo del Rumiña - hui la misma que ya fue determinada en el capítulo anterior en el pá - rrafo 3.3 obteniéndose los siguientes valores:

$$A (v) = 18.6 \text{ dB (enlace Quito-Caparimaloma)}$$

$$A (v) = 22 \text{ dB (enlace Quito-Loma de la Mira)}$$

c) Ganancia de Antena

En radiocomunicaciones el principal interés es la dirección de má xima radiación de una antena. La potencia que se propaga en esta di - rección es una medida de la potencia radiante de la antena.

A una antena se le califica generalmente de acuerdo a una compara ción de la potencia radiada a lo largo de esta línea con una antena bá sica o de referencia, y que tiene una potencia igualmente radiada, la relación entre estos dos valores expresados como el cuadrado de las in tensidades del campo en un punto dado, es la llamada "ganancia directi va de antena".

La antena de referencia puede ser un conductor corto o una fuente puntual teórica llamada "radiador isotrópico" a la cual se asume que radia uniformemente en todas las direcciones y por lo tanto tiene un modelo de radiación esférico, este radiador isotrópico tiene una ganan

cia de valor unitario.

En las disposiciones más complicadas de antenas, es práctica común usar el dipolo de media longitud de onda, como elemento de referencia. La ganancia de una antena en términos de un dipolo de media longitud de onda o en términos de un conductor corto, puede ser convertida a la de un radiador isotrópico de referencia sumando la ganancia de cada uno de estos (en dB) con respecto al radiador isotrópico. Los respectivos valores están indicados en el siguiente cuadro:

	Ganancia versus radiador isotrópico	
	Relación numérica	dB
Conductor corto o dipolo Hertz	1.50	1.76
Radiador de media longitud de onda	1.64	2.148

Una vez que se ha establecido el análisis de cada una de las componentes de la atenuación total, es necesario evaluar cada uno de estos parámetros solamente para el enlace Quito - Caparimaloma ya que para el enlace Quito - Loma de la Mira se estima que los valores serán muy similares por lo cual se considera sin valor práctico realizar los cálculos para ese último enlace.

1) Atenuación de espacio libre

$$\begin{aligned} a. &= 32.45 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Km)} \\ &= 32.45 + 20 \log 181.25 + 20 \log 149 \\ &= 121 \text{ dB} \end{aligned}$$

2) Atenuación de la línea de alimentación

Se tiene que para el cable del tipo RG-17A/U la atenuación es:  
0.046 dB/m.

La longitud de la línea de alimentación para la antena transmi  
sora de Quito más la de la antena receptora en Caparimaloma es  
es de 55 metros en los cuales está agragado 5 metros en cada -  
terminal para dar una determinada tolerancia en la longitud. -  
-(Altura de torre en Quito = 20 m; altura de torre en Caparima  
loma = 25 m ).

$$\begin{aligned} a_1 &= 55 \text{ m} \times 0.046 \\ &= 2.53 \text{ dB} \end{aligned}$$

3) Atenuación adicional por adaptación incompleta

$$\begin{aligned} a_{\text{ad ref.}} &= 2 \text{ dB (Transmisor)} + 2 \text{ dB (Receptor)} \\ &= 4 \text{ dB} \end{aligned}$$

4) Atenuación adicional por obstáculo

$$A(v) = 18.6 \text{ dB}$$

5) Ganancias de antena

La ganancia de la antena transmisora está determinada por datos ob  
tenidos de la estación transmisora, la misma que es:

$$g_1 \text{ (con respecto al dipolo de media long. de onda)} = 9.863 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} G_1 \text{ (con respecto al radiador isotrópico)} &= 9.863 \text{ dB} + 2.148 \text{ dB} \\ &= 12.011 \text{ dB} \end{aligned}$$

La determinación de la ganancia de la antena receptora en el sitio de Caparimaloma, se lo hace en base a los valores de intensidad de campo eléctrico medidos en el espacio libre, los mismos que ya se mencionaron y están dados en la tabla 3 - 7 , como puede observarse estos valores tienen una cierta variación en las diferentes fechas, debido posiblemente a reajustes efectuados en el transmisor y a imprecisión de las lecturas por parte de la persona que opera los equipos de medición de campo eléctrico, razón por la cual se ha estimado como un valor promedio de 42 dB, por otra parte es necesario considerar las recomendaciones internacionales respecto a la intensidad de campo mínima a protegerse y el CCIR como el FCC para la banda III en la cual está comprendido este canal consideran un valor de 500 uv/m (54 dB), en esta forma la comunicación quedará protegida contra ruidos, interferencias, etc.

De acuerdo a estas consideraciones, se determina la ganancia de la antena receptora

$$\begin{aligned} G_2 \text{ (dB)} &= 54 \text{ dB} - 42 \text{ dB} \\ &= 12 \text{ dB} \end{aligned}$$

Esta es la ganancia para la antena receptora con respecto a un radiador isotrópico.

En esta forma se ha determinado las componentes de la atenuación de transmisión, por lo tanto el valor de ésta de acuerdo a la ecuación 4 - 1 es:

$$a_t = 121 + 2.53 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 18.6 \text{ dB} - (12 + 12) \text{ dB}$$

$$a_t = 122 \text{ dB}$$

#### 4.2 NIVEL DE LA SEÑAL RECIBIDA

La atenuación total  $a_t$  calculada anteriormente sirve para el nivel de la señal recibida a la entrada del receptor el cual se determina a continuación:

$P$  = Potencia transmisora W.

$P_o$  = Nivel de la señal transmitida en dBm

$a_t$  = Atenuación total de transmisión en dB

$P_r$  = Nivel de la señal recibida en dBm

Donde  $P_r$  viene dado por la expresión:

$$P_r = P - a_t \quad (4-2)$$

$$P_o = 10 \log \frac{P}{1 \text{ mW}} \quad (4-3)$$

De acuerdo a esto se calcula el nivel de la señal recibida que se esperaría en el receptor, en el sitio de repetición de acuerdo a los siguientes datos:

$$P = 2.000 \text{ W} \text{ (potencia de la señal de video)}$$

$$a_t = 122 \text{ dB}$$

$$P_o = 10 \log \frac{2 \times 10^6 \text{ mW}}{1 \text{ mW}}$$

$$= 63 \text{ dB m}$$

Por lo tanto el nivel de la señal recibida de acuerdo a la ecuación 4 - 2 :

$$P_r = 63 \text{ dBm} - 122$$

$$P_r = - 59 \text{ dBm} \text{ equivalente a } 12.5 \times 10^{-7} \text{ mW}$$

#### 4.3 RELACION SEÑAL RUIDO

La calidad de retransmisión de una señal radioeléctrica, está determinada por la relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido en el terminal de entrada del circuito. Existen varios tipos de ruido que afectan la señal recibida, y entre estos se puede citar el ruido térmico, el mismo que es una función de las condiciones de propagación, mientras otros ruidos dependen del equipo (diafonía, cables, reflexiones, etc.) los mismos que son determinados por los datos del fabricante o datos de diseño.

El cálculo de la relación señal - ruido térmico presume el conocimiento de las condiciones de propagación en la ruta, las mismas que han sido determinadas en el párrafo precedente y que son: atenuación de espacio libre, potencia transmitida, ganancia de antenas, además es necesario conocer el factor de ruido del receptor y el ancho de banda. El factor de ruido indica la cantidad de ruido entregado por el receptor bajo las condiciones arriba mencionadas.

Cuando una fuente que genera señal de RF se conecta a la entrada de un receptor cuyo acoplamiento se considera perfecto, a la salida se

introduce la señal también se introduce el ruido térmico el mismo que tiene una potencia de  $KTB$  vatios

donde:  $K$  = Constante de Boltzman =  $1.38 \times 10^{-23}$  Joules  $K^{-1}$

$T$  = Temperatura ambiente en grados Kelvin (usualmente se toma como  $290$  °K =  $17$  °C )

$B$  = Ancho de banda del receptor en Hz

Cuando un receptor ideal el cual no genera ruido propio es conectado a una fuente perfectamente acoplada, la potencia de ruido que se obtiene en la salida del receptor se debe enteramente al producido en la fuente, y que alimenta al receptor con una potencia igual a  $KTB$  vatios. Un receptor práctico tendrá un factor de ruido  $n$ , y si es alimentado desde una fuente perfectamente acoplada presentará una potencia de ruido igual a  $nKTB$  vatios en la salida del receptor perfecto.

Si la señal de entrada tiene una potencia  $P_r$  vatios, y el ancho de banda es  $B$  Hz, la relación señal ruido antes de la demodulación o sea en el paso de FI es:

$$\frac{P_r}{nKTB} \quad (4 - 4)$$

Esta ecuación expresada en decibelios viene dada como:

$$(S/N) = P_r - 10 \log n - 10 \log B + 114 \quad (4 - 5)$$

Donde  $P_r$  se expresa en dbm y  $B$  en MHz

De la ecuación 4 - 5 se calcula la relación señal ruido térmico - de acuerdo a los siguientes datos:

$$P_r = -59 \text{ dBm}$$

$$B = 6 \text{ MHz}$$

$$n = 5$$

El factor de ruido  $n = 5$  ha sido obtenido de manuales de fabricantes de equipos, por lo tanto:

$$S/N = -59 - 10 \log 5 - 10 \log 6 + 114$$

$$S/N = 40 \text{ dB}$$

Los datos que han sido determinados se resumen en el siguiente cuadro:

1	Enlace Quito-Caparimalloma		
2	Frecuencia video	MHz	181.25
3	Frecuencia audio	MHz	185.75
4	Distancia	Km	149
5	Pérdidas de espacio libre	dB	121
6	Potencia transmitida	dBm	63
7	Ganancia antena transmisora	dB	12
8	Ganancia antena receptora	dB	12
9	Pérdidas en cables de alimentación	dB	4
10	Pérdidas por acoplamiento	dB	2
11	Pérdidas por obstáculo	dB	18.6
12	Nivel señal recibida	dBm	-59
13	Relación S/N	dB	40

Estos datos y valores son muy importantes para evaluar la calidad de la señal y por lo tanto del enlace radioeléctrico a establecerse , por otra parte de acuerdo a ellos se dimensionará el equipo a instalarse.

CAPITULO QUINTO

SISTEMAS DE RELEVOS

RADIOELECTRICOS

En este capítulo hace un breve análisis de los sistemas de relevadores radioeléctricos que son considerados básicos en enlaces de televisión, los mismos que han sido establecidos por recomendaciones de organismos internacionales como el FCC y el CCIR, por otra parte se considera el tipo de repetidora más conveniente para el presente estudio, tomando en cuenta tanto los factores técnicos como los económicos que son los que justifican la factibilidad de la ejecución de un enlace radioeléctrico.

De acuerdo a los procesos a los cuales la señal de televisión es sometida se consideran los siguientes sistemas de radios relevos:

(1) Repetidoras de banda base

En este sistema de repetidora, la señal de televisión es demodulada a la banda base y modulada luego a la radiofrecuencia. La técnica de este sistema se basa en el aprovechamiento de la válvula Klystron reflejo la misma que constituye un simple generador de RF que puede ser modulada en frecuencia (FM), por otra parte este sistema hace posible que la señal de banda base sea obtenible en todas las estaciones repetidoras a lo largo de una cadena de las mismas, sin embargo este tipo de repetidoras es restringido en el uso debido a que se requiere un gran número de procesos de modulación y demodulación siendo por lo tanto usados para enlaces de cortas distancias.

(2) Repetidoras de frecuencia intermedia (FI)

En estos sistemas la señal de radiofrecuencia (RF) es heterodina a una frecuencia intermedia para someterla luego a un proceso de amplificación y equalización, finalmente se re-heterodina a la radiofrecuencia sin modulación.

Este sistema permite interconectar en frecuencia intermedia varios enlaces de cualquier sistema, o sistemas que emplean varias frecuencias de radio.

(3) Repetidora de radiofrecuencia (RF)

En este sistema la señal de radiofrecuencia es amplificada, transpuesta en frecuencia y re-radiada. En la señal de radiofrecuencia se hace la transposición directa y este hecho se basa en el uso de amplificadores de onda progresiva para proveer señales de amplificación útiles en frecuencias del orden de miles de megaciclos. Estos Sistemas son menos flexibles que los de frecuencia intermedia y la extracción o inserción de una señal de video en una estación repetidora involucra el uso de moduladores y demoduladores los mismos que son algo complejos y costosos.

Se puede concluir que los sistemas del segundo grupo son más extensamente usados en cadenas de televisión y se espera que estos sistemas serán mas ampliamente usados en el futuro, por esta razón las repetidoras en frecuencia intermedia son recomendados por el CCIR para estandarización internacional para telefonía multicanal y televisión.

## 5.1 EQUIPO DE REPETICION A INSTALARSE

Los sistemas anteriormente mencionados son de aplicación práctica cuando estos van a formar parte de una cadena nacional y a su vez pueden ser acoplados a un circuito internacional, por otra parte estos sistemas son recomendados cuando van a operar en frecuencias altas es decir en los rangos de UHF y SHF (de 300 MHz a 30 GHz).

Para el caso del presente estudio debe considerarse que el enlace radioeléctrico tiene un solo salto que cubre 150 KM aproximadamente y que el rango en que va a operar es el de VHF; razón por la cual, se ha estimado que el sistema de repetidora a instalarse debe ser un equipo más elemental, tomando en cuenta que sea factible económicamente y sin descuidar por otra parte los factores técnicos.

El equipo de radio ha instalarse debe cumplir con las siguientes funciones:

Recibir la señal de televisión del Canal 8 de Quito, amplificar esta señal y retransmitirla en una frecuencia diferente correspondiente a otro canal de televisión, el que ha sido determinado como el Canal 3 de televisión después de investigaciones de campo eléctrico en la ciudad de Riobamba.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, existen algunas posibilidades de sistemas a instalarse, los que cumplen satisfactoriamen-

te las funciones deseadas. Se ha estimado que un sistema de repetidora como el que se indica en forma de bloques en la Fig. 5 - 1, podría ser muy conveniente para el fin propuesto.

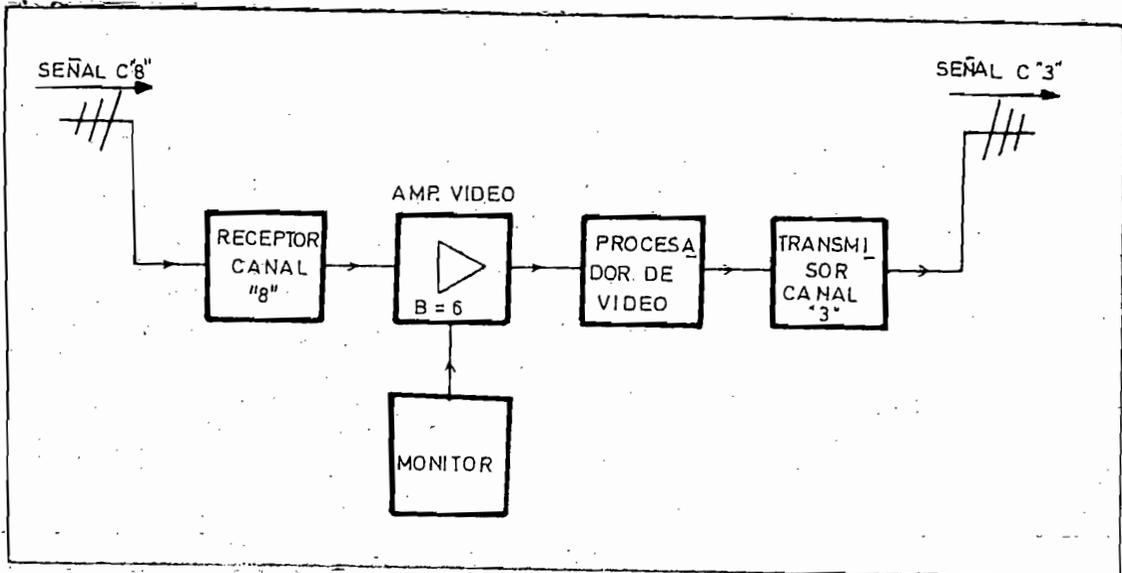


Fig. 5 - 1

Sistema de repetidora a instalarse en "Caparimaloma"

Este sistema de repetidora básicamente está constituida por la antena de recepción , la señal de televisión del canal 8 de Quito se recibe en esta antena en un receptor el mismo que estará sintonizado a las frecuencias de este Canal, luego la señal de audio como la señal de video son amplificadas mediante un amplificador de video de banda ancha, a este amplificador se encuentra acoplado un monitor el mismo que tiene la función específica de controlar la señal de televisión para en esta forma controlar los niveles relativos de la misma, además se dispone de un

procesador de video con el fin de amplificar y reconstruir los pulsos de sincronismo los mismos que llegan posiblemente deformados al receptor - por efectos de la propagación . Finalmente la señal va a un transmisor- el mismo que transmitirá la señal en una frecuencia correspondiente al del Canal 3 de televisión por medio de la antena transmisora a la ciudad de Riobamba y sus alrededores.

El equipo de este sistema debe cumplir básicamente con los siguientes requerimientos:

(a) Receptor

El receptor debe ser de alta sensibilidad y calidad FCC, de recepción monocromática y que cumpla con las especificaciones técnicas que fueron establecidas en el capítulo anterior en lo que respecta al nivel de la señal y a la relación señal - ruido. .

(b) Amplificador de video

Este amplificador debe cumplir con las especificaciones de FCC, por otra parte debe ser de banda ancha y en este caso de 6 MHz, para que sea capaz de amplificar tanto la señal de video como la de audio,

(c) Monitor

Debe cumplir con las especificaciones de FCC en tal forma que sea capaz de realizar el respectivo control y verificación de la señal de televisión.

(d) Procesador de video

Debe cumplir con las especificaciones del FCC y por otra parte debe ser de alta sensibilidad tal que compense satisfactoriamente los pulsos de sincronismo.

(e) Transmisor

En forma similar al resto del equipo debe cumplir con las especificaciones del FCC, en este se realizará la transposición de frecuencia desde el Canal 8 al Canal 3.

### 5.1.1 Antenas

Las antenas tanto receptora como retransmisora juegan un papel importante en el equipo de repetición, debido a esta razón se ha dedicado un párrafo aparte para hacer las estimaciones respectivas.

La antena de recepción debe ser altamente directiva y de lóbulo estrecho, en tal forma que concentre la mayor parte de la energía recibida y además debe conservar el ancho de banda correspondiente a los 6 MHz para evitar en esta forma la distorsión de las señales.

Existe una gran variedad de tipos de antenas que cumplen con la finalidad indicada, para el presente estudio se sugiere que una antena logarítmica periódica es más conveniente, debido a las características que posee para el fin propuesto, fundamentalmente consiste en una serie-

de dipolos dispuestos paralelamente con intervalos decrecientes sobre un conductor, los mismos que van reduciendo su longitud en forma logarítmica, esta antena se caracteriza principalmente por su banda ancha, así - por ejemplo el ancho de banda de 6 MHz puede ser abarcado íntegramente - en una sola antena sin necesidad de una sintonización. La antena opera de manera similar a un dipolo sintonizado; pero a diferencia, con aquel, tiene una ganancia independiente de la frecuencia y además una atenuación de aproximadamente 20 dB para ondas que inciden en la dirección opuesta, de esta manera se elimina ampliamente las perturbaciones provenientes de aparatos dispuestos detrás de la antena.

En lo que respecta a la antena de transmisión debe cumplir con los requisitos fundamentales de radiar la señal con un lóbulo de aproximadamente 70 grados, para en esta forma cubrir el área de la ciudad de Riobamba y sus alrededores, debe tener un ancho de banda de 6 MHz, por otra parte las antenas usadas para transmitir señales de televisión deben presentar una impedancia de entrada constante.

Un tipo de antena que se puede considerar como una de las más populares para transmitir la señal de televisión en el rango de VHF es la antena "supermariposa"; sobre un 75% de las antenas usadas en la actualidad para este objetivo son de esta clase.

En esta antena el radiador consiste de una armazón soldada de tubos de acero en forma de una oreja de elefante.

Cuatro radiadores son montados alrededor de un poste tubular de ace  
ro a intervalos de 90 grados.

Por otra parte se puede considerar que existen numerosos tipos de an  
tenas que pueden cumplir satisfactoriamente a igual que las antenas ante  
riormente mencionadas y entre ellas se puede citar la antena tipo Yagi es  
pecialmente para la recepción de la señal la misma que presenta ventajas  
de orden económico.

CAPITULO SEXTO

CONCLUSIONES

Para finalizar el presente trabajo se ha estimado conveniente establecer las conclusiones respectivas a las que se llega una vez concluido el estudio técnico, el que ha determinado la factibilidad del enlace y consecuentemente las bases en que este se establecerá.

Es necesario indicar que la mayor parte de las conclusiones ya fueron hechas durante el desarrollo del estudio, a continuación se dan las que se consideran de carácter general y de consecuencia práctica:

- 6.1 Del presente trabajo se deduce , que el establecimiento de una estación repetidora de una señal de televisión, requiere un estudio sistémico y de bases técnicas, las mismas que consideren todos los aspectos generales de una planificación incluida en ella los factores de carácter económico para en esta forma conseguir una comunicación satisfactoria.
  
- 6.2 Cuando hay circunstancias en la que es necesario establecer un enlace radioeléctrico entre dos puntos, separados algunos cientos de kilómetros y más allá del horizonte de radio, los mismos que están interrumpidos por obstáculos naturales, como es el del presente estudio en el cual la señal de televisión entre el transmisor de Quito- y el punto de recepción Caparimaloma se encuentra interferida por el pico de montaña denominado Rumifahui, y por otra parte cuando el enlace se establece en el rango de VHF, en algunos casos como este, no es necesario planificar una estación repetidora intermedia, ya

que se puede aprovechar del fenómeno de difracción que se produce en un pico de montaña siempre y cuando la configuración de esta sea favorable para este objetivo.

En vista de que la configuración topográfica de nuestro país es favorable para enlaces de esta naturaleza y en el rango de VHF, se sugiere que cuando se establezcan comunicaciones similares se aprovechen de este efecto.

6.3 Los cálculos de los parámetros que intervienen en la propagación de la energía de radio, los mismos que determinan la relación señal - ruido y el nivel de la señal recibida son de importancia en el establecimiento de una comunicación, por ejemplo para el presente caso se debe seleccionar un equipo con una relación señal - ruido mejor o igual que 40 dB, en general de estos parámetros depende la calidad de la señal esperada y a la vez la elección del equipo a instalarse y por otra parte son los que determinan las posibilidades económicas de la comunicación.

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

- E. CASTELLI : Radio - Relays For Televisions Nº 3110 Vol. 1 y 2  
Brucelas 1969
- C.C.I.R. Doc XI Vol. IV : Sistemas de relevadores radioeléctricos  
OSLO 1966 Publicación 1967
- C.C.I.R. Doc XI Vol. II : Propagación OSLO 1966 Publicación -  
1967
- NORTON, K. A. : Transmission Loss in Radio Propagation Parte I ,  
Proc. I.R.E. Vol. 41 Enero 1953
- BEAN, H. R. : The refractive index of air, Proc. I.R.E., Vol. 50, 3,  
260 - 273 Marzo 1962
- JORDAN E.C. : Electromagnetic Waves and Radiating Systems, Primera  
edición, Prentice - Hall, Inc. London 1950
- SEMINARIO SOBRE LAS RADIOCOMUNICACIONES, Presentado por la Secretaría  
del C.C.I.R. 6 - 17 Nov. 1967 Ginebra 1969
- HEINRICH KUNST : Introducción a la planificación de enlaces de Microondas  
Septiembre 1970
- BULLINGTON, K. : Radio Transmission Beyond the Horizon in 40-4,000  
Mc Band, Proc. I.R.E. Vol. 41 pags. 132 - 135 Enero 1953
- OMAR ROSADA : Introducción a los Sistemas de Microondas, Escuela Politécnica  
Nacional, Pags. III-1 - IV-21 Agosto 1969
- TERMAN F.E. : Radio Engineer's Handbook, primera edición McGraw -  
Hill Publishing Company Ltd. Londres 1950