

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

en 2.58
H.722
e.3

[Signature] 6/1/03



D-4998

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MICROONDAS PARA TELEFONIA

[Handwritten green mark]

EN LA

PENINSULA DE SANTA ELENA

TESIS DE GRADO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTA:

Luis Alfredo Molina Salazar

GUAYAQUIL - ECUADOR

:-1976-:

Declaro que: "Hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis de Grado son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma, corresponde a la Escuela Superior Politécnica del Litoral" .

(REGLAMENTOS EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA E.S.P.O.L.)

LUIS ALFREDO MOLINA S.

A mi MADRE y HERMANA, como expresión de
los sentimientos más grandes de cariño
y respeto.

A mi Esposa SUSANA y a mi Hijo ALFREDO
con todo amor.

Mi reconocimiento a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL y sus dignos profesores.



Al Dr. VICTOR MANDINI como nuestra de mi
imperecedera gratitud por su valiosa ayu
da académica en el desarrollo de esta Te
sis.

AL INSTITUTO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES

por el apoyo prestado en la realiz
ación del presente trabajo

T I T U L O D E T E S I S

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MICROONDAS PARA TELEFONIA

EN LA

PENINSULA DE SANTA ELENA

Director de Tesis

.....
Dr. Victor Mandini C.

Autor

.....
Luis Alfredo Molina S.

C O N T E N I D O

- CAPITULO 1 Introducción
- 1.1 Estudio de tráfico
 - 1.2 Selección de sitios y geografía de la ruta
 - 1.3 Plan de frecuencia
- CAPITULO 2 Previsiones de propagación troposférica
- 2.1 Perfiles en los trayectos de propagación
 - 2.2 Elipsoides de Fresnel. Generalidades y Cálculo
 - 2.3 Puntos de reflexión. Generalidades y Cálculo
- CAPITULO 3 Tramos de radio-enlace
- 3.1 Distribución de la atenuación en el tramo
 - 3.2 Cálculo de la atenuación por espacio libre y pérdidas en las líneas de alimentación de las antenas y filtros.
 - 3.3 Determinación de las ganancias requeridas de las antenas y cálculo de la potencia de recepción
- CAPITULO 4 Estimación de la calidad del enlace de microondas
- 4.1 Generalidades
 - 4.2 Valor objetivo del ruido
 - 4.3 Determinación del cociente señal-ruido en los receptores para un tiempo sin desvanecimiento
 - 4.4 Distribución de los ruidos y elaboración del balance de ruido en el radio-enlace y en un canal superior
 - 4.5 Nivel de umbral y diagrama de niveles
- Apéndices
- Bibliografía.

1.2 SELECCION DE SITIOS Y GEOGRAFIA DE LA RUTA

Es un trabajo importante en la planificación de un enlace de microondas seleccionar la ubicación de las estaciones repetidoras y terminales.

Los sitios de las estaciones, son decididos considerando no solo las cacterísticas de transmisión, sino la fácil construcción, servicios, mantenimiento y planes futuros.

Debemos tomar en consideración los sitios que han sido determinados por el actual sistema de radio enlace. El actual sistema de radio enlace de la Península de Santa Elena, cuenta con dos estaciones terminales, localizadas una en Guayaquil, y la otra en Salinas, y una estación repetidora que se encuentra a la altura del kilómetro 75 vía Guayaquil - Salinas, de ahí a 12,5 kilómetros por medio de un camino de herradura hasta la estación repetidora del Cerro de Animas.

En cuanto a las comunicaciones con Playas, éstas son llevadas a cabo de una derivación hecha en la estación repetidora del Cerro de Animas.

Como es lógico pensar, podemos descartar lo que corresponde a construcciones, mantenimiento y planes futuros de las estaciones, por cuanto las que se encuentran en la actualidad lo tiene previsto.

Es decir, que solo hemos considerado lo que corresponde a las caracterís
ticas de transmisión, ya que hay mayor restricción en microondas que en
V.H.F.

El estudio de las características de transmisión son llevadas a cabo en
los próximos capítulos, en donde las consideraciones hechas se basan en
estudios teóricos de propagación, ya que las pruebas de propagación no
han sido posibles por no disponer de equipos necesarios y por lo costoso
de éstos.

Un diagrama a escala de la geograffa de la ruta es mostrado en la siguien
te página.

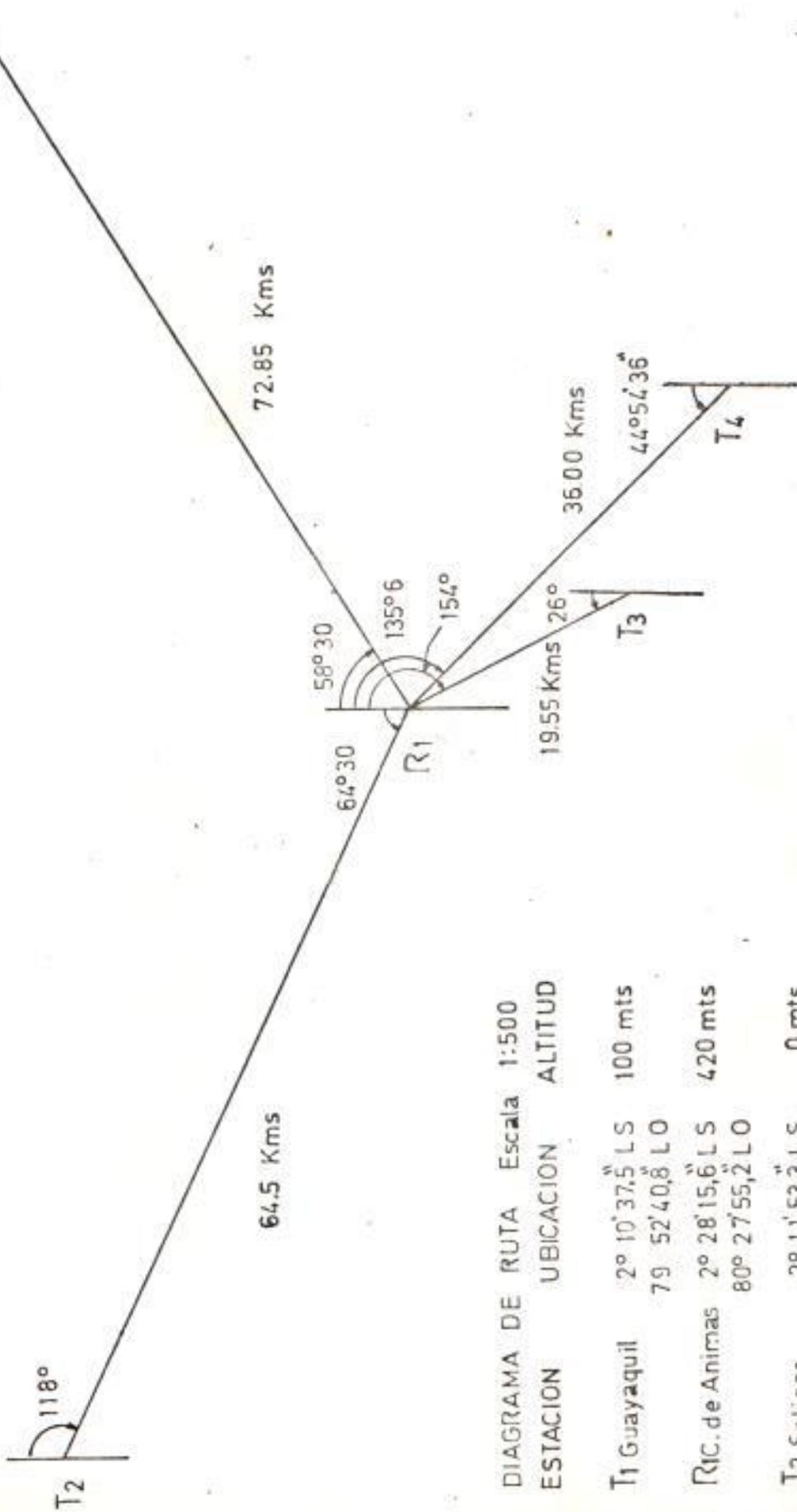


DIAGRAMA DE RUTA Escala 1:500

ESTACION	UBICACION	ALTITUD
T1 Guayaquil	2° 10' 37,5" LS 79 52' 40,8" LO	100 mts
R1C. de Animas	2° 28' 15,6" LS 80° 27' 55,2" LO	420 mts
T2 Salinas	2° 11' 53,3" LS 80° 58' 42" LO	0 mts
T3 Playas	2° 37' 52,3" LS 80° 23' 28,4" LO	2 mts
T4 Posorja	2° 42' 20,4" LS 80 14' 24,6" LO	0 mts

1.3 PLAN DE FRECUENCIA

En los sistemas de radio - enlace, los varios circuitos de radio son ais lados uno de otro, ya sea usando diferentes frecuencias de radio o cuando se usa la misma frecuencia de radio por una discriminación apropiada de la antena o/y aislación topográfica.

Dado que en soluciones técnicas normales, no se puede alcanzar condicio nes ideales, una cierta cantidad de energía no deseada de transmisión de radio vecinos, podría interferir con la señal requerida en la entrada del receptor.

Es por esto, que para el planeamiento de un sistema de radio - enlace se debe seleccionar las frecuencias de radio y los tipos de antena en tal forma que la potencia de una señal indeseable tenga un valor despreciable en el receptor.

Como las frecuencias de radio no son disponibles en un número infinito el objeto principal del planeamiento de frecuencia es seleccionar las frecuen cias de transmisión de una manera económica, es decir ocupando dentro del espectro radioeléctrico el menor espacio posible.

Con el fin de facilitar el planeamiento de frecuencias, el CCIR; ha emiti do recomendaciones para el planeamiento de frecuencias en Sistemas de ra

dio - enlace que operan en el campo de las microondas

Para nuestro estudio utilizamos la recomendación # 279-1 dada por el CCIR respecto a la disposición de canales radioeléctricos de los sistemas con una capacidad de 300 canales, que trabajan en la banda de 4Ghz.

La recomendación nos dice:

- 1.- Que la disposición preferida de los canales radioeléctricos para varios sistemas que trabajan en la banda de 4Ghz, cada uno de ellos con una capacidad de 300/1800 canales telefónicos ha quedado establecida según diagrama # 1.3a.
- 2.- Que una sección utilizada para una interconexión internacional todos los canales de ida estén situados en una de las mitades de la banda y todos los canales de retorno en la otra mitad.
- 3.- Que para canales radioeléctricos adyacentes de una misma mitad de banda se utilice alternativamente la polarización horizontal y vertical.
- 4.- Que para interconexiones internacionales, el valor de la frecuencia central sea de preferencia.

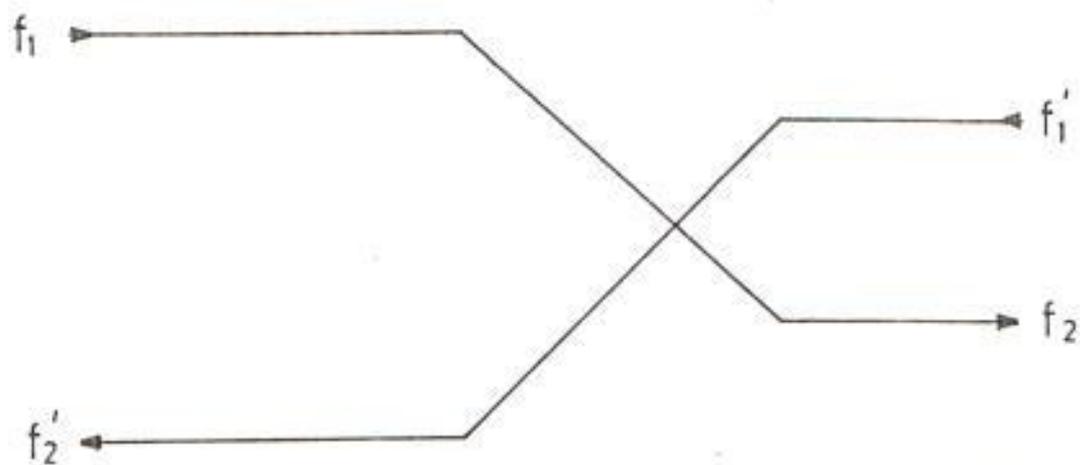
$$f_0 = 4.003,5 \text{ Mhz}$$

que corresponde a la banda 3803,5Mhz - 4203,5 Mhz pero, que previo a

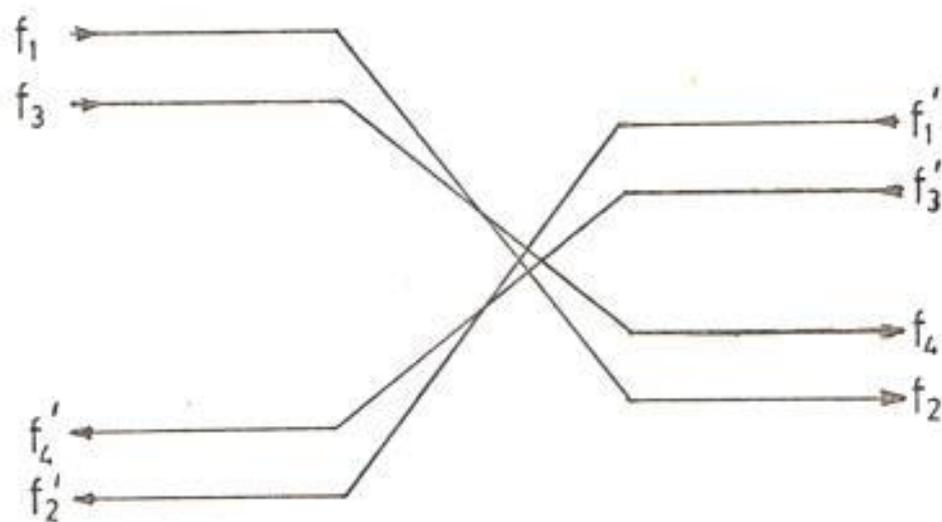
cuerto entre administraciones internacionales, puedan adaptarse otros valores. En lo que respecta a la asignación de los canales radioeléctricos empleamos para nuestro estudio el plan de cuatro frecuencias, es decir que una estación repetidora estará conformada por cuatro frecuencias diferentes, dos entrantes y dos salientes, como indica la figura #1.3.b.

FIGURA # 1.3.b

PLAN DE CUATRO FRECUENCIAS



Como para aumentar la seguridad en el sistema de radio-enlace disponemos de un canal radioeléctrico como reserva, tendremos:



En el diagrama # 1.3.a, indicamos los canales radioelctricos escogidos en donde:

$$f_1 = 3.824,5 \text{ Mhz}$$

$$f_2 = 4.037,5 \text{ Mhz}$$

$$f_3 = 3.853,5 \text{ Mhz}$$

$$f_4 = 4.066,5 \text{ Mhz}$$

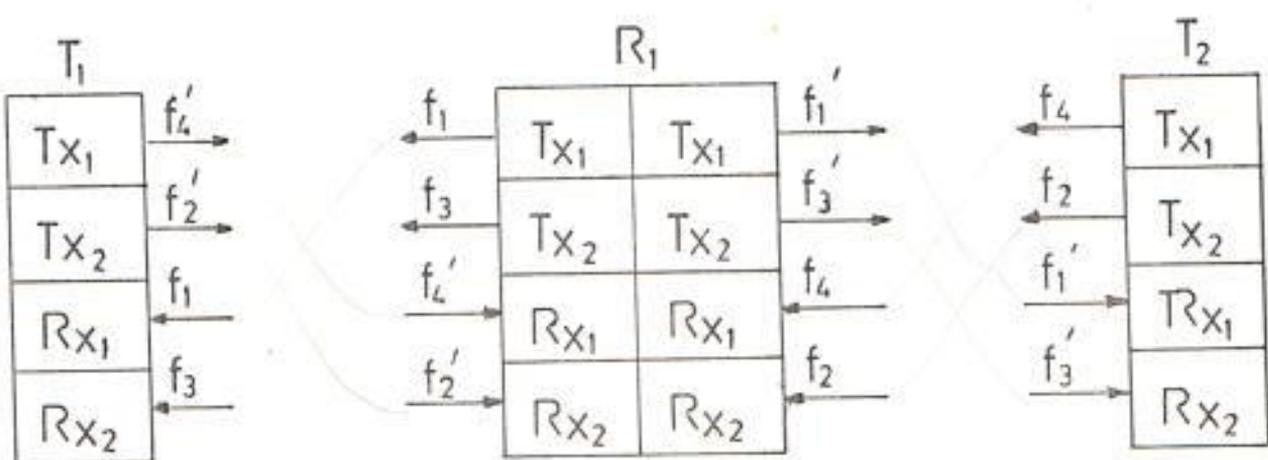
$$f'_1 = 3.882,5 \text{ Mhz}$$

$$f'_2 = 4.095,5 \text{ Mhz}$$

$$f'_3 = 3.911,5 \text{ Mhz}$$

$$f'_4 = 4.124,5 \text{ Mhz}$$

quedando establecido de la siguiente forma:



T_1 Guayaquil

R_1 Cerro de Animas

T_2 Salinas

El estudio se lo realiza en la banda de 4 Ghz, pero como en la estación Cerro de Animas habrá derivaciones para Playas y Posorja, y como se dió a conocer por el estudio de tráfico (ver capítulo 1 #1.1) que estas poblaciones tienen menor capacidad de canales telefónicos que no justifican que sus sistemas operen en el campo de las microondas, sino bien pueden trabajar en la banda UHF o VHF.

Por consiguiente este trabajo contempla, además de los diagramas de perfiles de los tramos de radio: Playas - Cerro de Animas y Posorja - Cerro de Animas, los cálculos correspondientes a las Elipsoides de Fresnel, con el fin de dar a conocer la posibilidad de la derivación y con ello la utilidad de la estación Cerro de Animas.

Los cálculos de los Elipsoides de Fresnel de los dos tramos mencionados se lo efectúa con la frecuencia de 400 Mhz que corresponde a la banda UHF.

CAPITULO N° 2

- 2 . Previsiones de propagación troposférica
- 2.1. Perfiles en los trayectos de propagación
- 2.2. Elipsoides de Fresnel. Generalidades y cálculo
- 2.3. Puntos de reflexión. Generalidades y cálculo

2.1 PERFILES EN LOS TRAYECTOS DE PROPAGACION

Partiendo de haber seleccionado los mismos sitios en donde se encuentra ubicadas las estaciones terminales y repetidoras. Los diagramas de perfiles son trazados, haciendo uso de mapas topográficos de escala 1:50,000

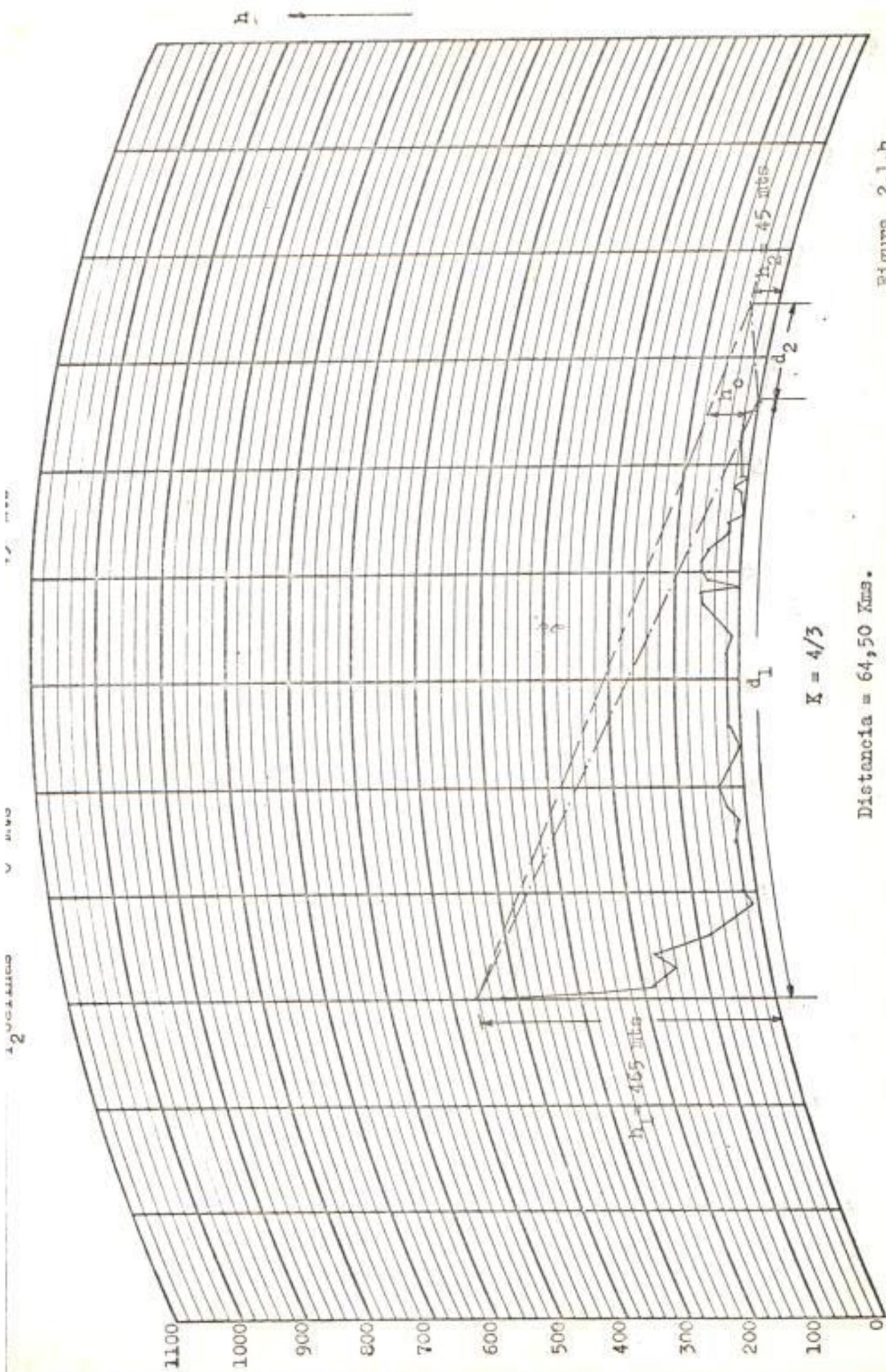
Un importante factor influye en la forma de un diagrama de perfil, aunque la superficie de la tierra es curva, el rayo de energía de microondas - tiende a viajar en línea recta. Sin embargo, el rayo es normalmente curvado hacia abajo ligeramente por la refracción atmosférica.

El efecto de la refracción es tal que si el diagrama de perfil es preparado sobre la base de $4/3$ del verdadero radio de la tierra, (ver ápendice #1), una línea recta entre los sitios de las antenas indicará las distancias entre el camino de transmisión y la tierra.

El efecto de usar $K = 4/3$ y el verdadero radio de la tierra es mostrado en los cuatro gráficos fig. 2.1a, 2.1b, 2.1c, y 2.1d, en donde podemos - ver la distancia que hay entre antenas y lo libre de obstáculos que tiene los tramos, ya que como medida imprescindible en un sistema de radio enlace por microondas es que haya línea de vista.

Debemos mencionar la importancia que tiene en un estudio de esta natura-

leza, el trazar los diagramas de perfiles, ya que estos constituyen la base principal en donde parten los demás cálculos.



Distancia = 64,50 Kms.

Figura 2.1.b

TRAMO DE RADIO

EL CARMEN - ANIMAS

(T₁ - R₁)

DISTANCIA TOTAL = 72,85 Kms
H_{cm} = Altura en metros
d_{km} = Distancia horizontal en Kms

<u>EL CARMEN</u>	<u>d_{km}</u>	<u>H_{cm}</u>	<u>d_{km}</u>	<u>H_{cm}</u>
	0	100	59	0
	0,5	0	60	60
	7	0	61	30
	20	0	62	0
	21	10	62,5	20
	22,5	20	63	100
	23	40	63,5	100
	23,6	40	64	60
	24	20	64,5	60
	24,5	0	65	100
	51	0	65,5	60
	52	10	66	100
	53,5	100	66,5	60
	54	20	67	30
	54,5	100	68	60
	54,8	100	69	30
	55,2	100	70	20
	55,4	20	70,5	60
	57,2	100	71	100
	57,8	100	72	300
	58	20	72,85	420

CERNO ANIMAS

TRAMO DE RADIO

ANIMAS - SALINAS

$$(R_1 - T_2)$$

DISTANCIA TOTAL = 64,5 Kms

Hxm = Altura en metros

dkm = Distancia horizontal en kms

<u>ANIMAS</u>	<u>dkm</u>	<u>Hxm</u>	<u>dkm</u>	<u>Hxm</u>	
	0	420	38	0	
	0,5	280	39	40	
	1	180	40	50	
	1,5	150	40,5	50	
	2	160	42	40	
	3	170	42,5	40	
	4	80	43,2	20	
	6	50	44	20	
	8	10	44,3	0	
	10	25	45,1	0	
	12	20	45,2	10	
	14	20	46	0	
	16	10	47	0	
	18	36	47,3	20	
	20	40	48	0	
	22	20	49	10	
	24	0	50	10	
	26	20	51	20	
	28	20	52	20	
	30	20	53	20	
	32	20	54	20	
	34	10	55	20	
	36	40	55,3	0	
	37	50	56	0	
	37,5	50	58	0	
			64,5	0	<u>SALINAS</u>

T R A M O D E R A D I O

P L A Y A S - A N I M A S

$$(T_3 - R_1)$$

DISTANCIA TOTAL= 19.55 Kms

Hxm = Altura en metros

dkm = Distancia horizontal en Kms

<u>PLAYAS</u>	<u>dkm</u>	<u>Hxm</u>	<u>dkm</u>	<u>Hxm</u>	
	0	25	10.50	100	
	1	25	11	80	
	2	25	11.50	100	
	4	20	12	100	
	6	25	13	80	
	6.5	20	13.20	100	
	7.40	60	14	80	
	7.50	80	14.20	243	
	7.75	100	14.50	200	
	8	100	14.75	80	
	8.25	60	15	200	
	8.50	100	15.50	200	
	9	100	16	140	
	9.25	80	16.50	200	
	9.50	100	17	200	
	9.75	80	18	300	
	10	100	19	200	
			19.55	420	<u>CERRO DE ANIMAS</u>

TRAMO DE RADIO

POSORJA - CERRO DE ANIMAS

(T₁ - R₁)

DISTANCIA TOTAL = 36,00 Kms
 H_{km} = Altura en metros
 d_{km} = Distancia horizontal en Kms

<u>POSORJA</u>	<u>d_{km}</u>	<u>H_{km}</u>	<u>d_{km}</u>	<u>H_{km}</u>
	0	0	27	50
	1	0	28	60
	2	10	29	60
	3	10	30	80
	4	10	30,5	100
	5	0	31	120
	16	0	31,5	180
	17	10	32	300
	18	0	32,2	325
	19	0	32,5	300
	20	15	33	160
	21	20	33,5	200
	22	30	34	280
	23	40	34,5	260
	24	40	34,65	300
	24,25	83	35	260
	25	20	35,5	300
	26	45	36	420

C. DE ANIMAS



Mapa No. 1000
 Escala 1:50,000
 Salinas, Ecuador
 Elaborado por el Ing. J. J. Jarama
 en el mes de Julio de 1957
 con los datos de la expedición de 1956
 y los datos de la expedición de 1957
 y los datos de la expedición de 1958
 y los datos de la expedición de 1959
 y los datos de la expedición de 1960
 y los datos de la expedición de 1961
 y los datos de la expedición de 1962
 y los datos de la expedición de 1963
 y los datos de la expedición de 1964
 y los datos de la expedición de 1965
 y los datos de la expedición de 1966
 y los datos de la expedición de 1967
 y los datos de la expedición de 1968
 y los datos de la expedición de 1969
 y los datos de la expedición de 1970

LEYENDA

1	Carretera Nacional
2	Carretera Provincial
3	Carretera Comunal
4	Carretera de Termino
5	Carretera de Acceso
6	Carretera de Servicio
7	Carretera de Mantenimiento
8	Carretera de Reparación
9	Carretera de Construcción
10	Carretera de Estudio
11	Carretera de Proyecto
12	Carretera de Ejecución
13	Carretera de Operación
14	Carretera de Mantenimiento
15	Carretera de Reparación
16	Carretera de Construcción
17	Carretera de Estudio
18	Carretera de Proyecto
19	Carretera de Ejecución
20	Carretera de Operación
21	Carretera de Mantenimiento
22	Carretera de Reparación
23	Carretera de Construcción
24	Carretera de Estudio
25	Carretera de Proyecto
26	Carretera de Ejecución
27	Carretera de Operación
28	Carretera de Mantenimiento
29	Carretera de Reparación
30	Carretera de Construcción
31	Carretera de Estudio
32	Carretera de Proyecto
33	Carretera de Ejecución
34	Carretera de Operación
35	Carretera de Mantenimiento
36	Carretera de Reparación
37	Carretera de Construcción
38	Carretera de Estudio
39	Carretera de Proyecto
40	Carretera de Ejecución
41	Carretera de Operación
42	Carretera de Mantenimiento
43	Carretera de Reparación
44	Carretera de Construcción
45	Carretera de Estudio
46	Carretera de Proyecto
47	Carretera de Ejecución
48	Carretera de Operación
49	Carretera de Mantenimiento
50	Carretera de Reparación
51	Carretera de Construcción
52	Carretera de Estudio
53	Carretera de Proyecto
54	Carretera de Ejecución
55	Carretera de Operación
56	Carretera de Mantenimiento
57	Carretera de Reparación
58	Carretera de Construcción
59	Carretera de Estudio
60	Carretera de Proyecto
61	Carretera de Ejecución
62	Carretera de Operación
63	Carretera de Mantenimiento
64	Carretera de Reparación
65	Carretera de Construcción
66	Carretera de Estudio
67	Carretera de Proyecto
68	Carretera de Ejecución
69	Carretera de Operación
70	Carretera de Mantenimiento
71	Carretera de Reparación
72	Carretera de Construcción
73	Carretera de Estudio
74	Carretera de Proyecto
75	Carretera de Ejecución
76	Carretera de Operación
77	Carretera de Mantenimiento
78	Carretera de Reparación
79	Carretera de Construcción
80	Carretera de Estudio
81	Carretera de Proyecto
82	Carretera de Ejecución
83	Carretera de Operación
84	Carretera de Mantenimiento
85	Carretera de Reparación
86	Carretera de Construcción
87	Carretera de Estudio
88	Carretera de Proyecto
89	Carretera de Ejecución
90	Carretera de Operación
91	Carretera de Mantenimiento
92	Carretera de Reparación
93	Carretera de Construcción
94	Carretera de Estudio
95	Carretera de Proyecto
96	Carretera de Ejecución
97	Carretera de Operación
98	Carretera de Mantenimiento
99	Carretera de Reparación
100	Carretera de Construcción

2.2 ELIPSOIDES DE FRESNEL. GENERALIDADES Y CALCULO

El concepto de las zonas de Fresnel es muy útil en transmisiones de radio, su efecto crítico es calculado en relación al radio de la primera zona de Fresnel.

La figura 2.2.a representa una antena transmisora de radio T, que emite energía la cual viaja expandiéndose en frentes de onda.

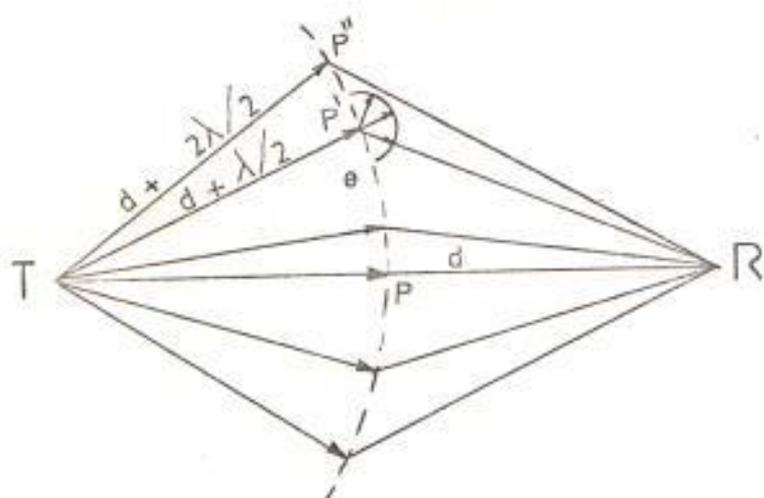


Figura 2.2.a

La propagación de las ondas en un medio extenso puede entenderse mejor en términos del principio de Huyghens que establece que cada elemento de un frente de onda es una fuente de onda secundarias tal como P', P'' etc.. Este patron es repetido indefinidamente, mientras que la fuerza de campo en el receptor R es la suma vectorial de las infinitas y minúsculas ondas de la antena transmisora T. De P', solo una parte de el nuevo frente de on-

da llegará al receptor, dependiendo en la distancia de la antena y el ángulo θ .

Para distancia más corta de camino d , entre T y R el ángulo θ será de 180° , pero para cualquier otro camino estará entre 0° y 180° .

Para cualquier punto tal como P' , el coseno del ángulo θ es una medida del "factor de oblicuidad" que define la magnitud de la componente que llega al receptor.

Obviamente si nosotros consideramos el punto P'' , el ángulo θ es mucho menor y el contributo de la magnitud de la señal será menor que la del punto P' .

Si nosotros vemos una vez más el punto P' , es evidente que la energía que llega por esta vía al receptor lo hará después de la energía que ha viajado por el camino más corto de transmisión d .

Si la distancia de camino P' es mayor por media longitud de onda $(\lambda/2)$ la diferencia de fase será de 180° y las señales serán canceladas.

Si la longitud del camino indirecto es incrementada por media longitud de onda más $(\lambda/2)$, la señal viajará por este camino (punto P'') y se añá-

dirá en fase con la señal directa.

La longitud del camino indirecto puede ser incrementado indefinidamente definiéndonos el camino en el cual la señal será alternativamente cancelada o reforzada a la onda directa.

La Figura 2.2.b es otra vista del camino de radio, las líneas discontinuas representa el frente de onda, que se expanden desde T.

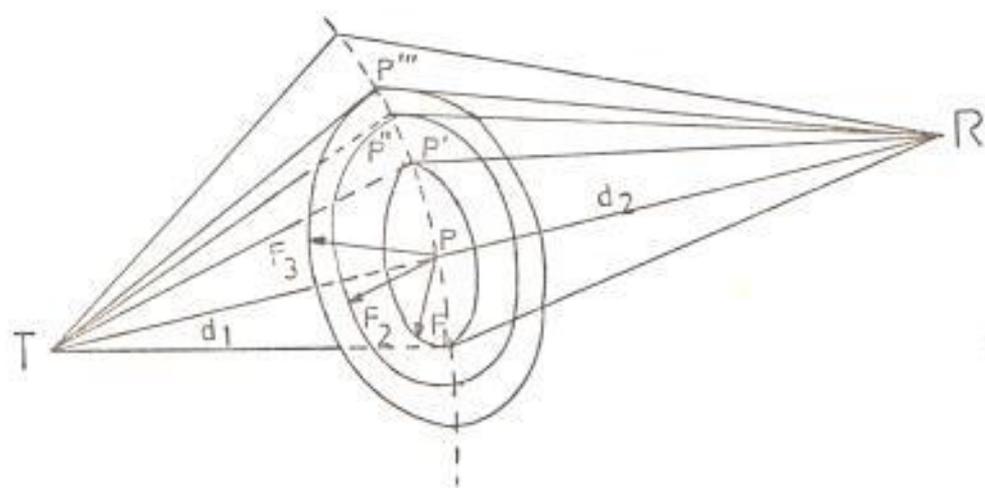


Figura 2.2.b

El punto P' nuevamente define el camino indirecto en el cual su extra longitud es media longitud de onda ($\lambda/2$). Si imaginamos mover P' al rededor de la circunferencia interior del círculo ello nos define todos los posibles caminos cuya longitud será de $d + \lambda/2$. Este círculo inte-

rior es llamado la primera zona de Fresnel con radio F_1 , y su fórmula es:

$$F_1 = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{f \text{ (Ghz)} \times d}} \quad (\text{ver apéndice \# 2})$$

ELIPSOIDES DE FRESNEL. CALCULO

Cálculo de la 1ª zona de Fresnel

TRAMO: PLAYAS - CERRO DE ANIMAS ($T_3 - R_1$)

Partimos de la fórmula (ver apéndice # 2)

$$F_1 = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{f \text{ (Ghz)} \times d}} \quad (\text{m})$$

En donde:

$$d_1 = 5,35 \text{ Kilómetros}$$

$$d_2 = 14,20 \text{ Kilómetros}$$

$$d = 19,55 \text{ Kilómetros}$$

$$f = 0,4 \text{ Ghz (ver capítulo 1 \# 1.3)}$$

Reemplazando valores:

$$F_1 = 17,32 \sqrt{\frac{5,35 \times 14,20}{0,4 \times 19,55}} = 53,98 \text{ metros}$$

Valor de la primera zona de Fresnel, calculado en el lugar en donde se encuentra la altura del obstáculo mas cercano a la línea de vista (ver diagrama de perfil Fig. 2.1.c) .

La altura de antena puede ser determinada tal que la distancia entre el tope del obstáculo y la línea de vista sea mayor que la primera zona de Fresnel cercana al obstáculo, es decir $h_c > F_1$. Naturalmente la de terminación de la altura de la antena está sujeta también a la reflexión del haz en la superficie de la tierra.

La importancia de tener la primera zona de Fresnel libre de obstáculo, radica en que la intensidad total de campo en el receptor, es el con tributo de todas las zonas de Fresnel, y que aproximadamente la mitad de la intensidad total de campo se debe tan solo a la primera zona de Fresnel.

En el diagrama de perfil Fig. 2.1.c podemos apreciar la distancia entre la línea central del camino de radio y el obstáculo, h_c es de-

terminado por la siguiente fórmula:

$$h_c = h_1 - \frac{d_1}{d} (h_1 - h_2) - \frac{d_1 \times d_2}{2 \times K \times a} - h_s \text{ (ver apéndice \# 4)}$$

En donde: $h_1 > h_2$

$$h_1 = 420 + 30 = 450 \text{ metros}$$

$$h_2 = 25 + 30 = 55 \text{ metros}$$

$$d_1 = 5,35 \times 10^3 \text{ metros}$$

$$d_2 = 14,20 \times 10^3 \text{ metros}$$

$$d = 19,55 \times 10^3 \text{ metros}$$

$$h_s = 243 \text{ metros (altura del obstáculo)}$$

$$a = 6,37 \times 10^3 \text{ metros (radio de la tierra)}$$



Para $K = 4/3$

Reemplazando valores:

$$h_c = 450 - \frac{5,35 \times 10^3}{19,55 \times 10^3} (450 - 55) - \frac{5,35 \times 10^3 \times 14,20 \times 10^3}{2 \times 4/3 \times 6,37 \times 10^6} - 243$$

$$h_c = 94,44 \text{ metros}$$

Es decir que la condición $h_c > F_1$ se cumple, puesto que $94,44 > 53,98$
para $K = 2/3$

$$h_c = 450 - \frac{5,35 \times 10^3}{19,55 \times 10^3} (450 - 55) - \frac{5,35 \times 10^3 \times 14,20 \times 10^3}{2 \times 2/3 \times 6,37 \times 10^6} = 243$$

$$h_c = 89,97 \text{ metros}$$

La condición se cumple nuevamente para $K = 2/3$, puesto que $89,97 > 53,98$

Debemos notar que en los cálculos hemos tomado una altura de antena (sobre la tierra) de 30 metros y la condición se cumple satisfactoriamente.

Si tomamos una altura de antena de 10 metros, o sea:

$$h_1 = 420 + 10 = 430 \text{ metros}$$

$$h_2 = 25 + 10 = 35 \text{ metros}$$

Para $K = 4/3$

$$h_c = 430 - \frac{5,35 \times 10^3}{19,55 \times 10^3} (430 - 35) - \frac{5,35 \times 10^3 \times 14,20 \times 10^3}{2 \times 4/3 \times 6,37 \times 10^6} = 243$$

$$h_c = 74,44$$

La condición $(74,44 > 53,98)$ se cumple.

Para $K = 2/3$

$$h_c = 430 - \frac{5,35 \times 10^3}{19,55 \times 10^3} (430 - 35) - \frac{5,35 \times 10^3 \times 14,20 \times 10^3}{2 \times 2/3 \times 6,37 \times 10^6} = 243$$

$$h_c = 69,97$$

La condición $(69,97 > 53,98)$ se cumple, ya sea que la altura de las antenas sea de 55 metros o de 35 metros, para $K = 4/3$ y $K = 2/3$.

La determinación de la altura de las antenas para este Tramo de Radio, quedan sujeto a la reflexión del haz, en la superficie de la tierra.

CALCULO DE LA 1ª ZONA DE FRESNEL

TRAYecto: CERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₂)

Partimos de la fórmula (ver apéndice # 2)

$$F_1 = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{f \text{ (Ghz)} \times d}} \text{ (m)}$$

En donde:

$$d_1 = 55 \text{ Kilómetros}$$

$$d_2 = 9,5 \text{ Kilómetros}$$

$$d = 64,5 \text{ Kilómetros}$$

$$f = 4 \text{ Ghz}$$

Reemplazando valores:

$$F_1 = 17,32 \sqrt{\frac{55 \times 9,5}{4 \times 64,5}} = 24,65 \text{ metros}$$

Valor de la primera zona de Fresnel, calculado en el lugar en donde se encuentra la altura del obstáculo más cercano a la línea de vista (ver diagrama de perfil Fig. # 2.1.b).

Para el cálculo de la altura de la antena determinamos el valor de h_c , aunque esta determinación depende también de la reflexión del haz.

En el diagrama de perfil Fig. 2.1.b podemos apreciar la distancia entre la línea central del camino de radio y el obstáculo, h_c es determinado por la siguiente fórmula:

$$h_c = h_1 - \frac{d_1}{d} (h_1 - h_2) - \frac{d_1 \times d_2}{2 \times K \times a} - h_s \text{ (ver apéndice \# 4)}$$

En donde: $h_1 > h_2$

$$h_1 = 420 + 45 = 465 \text{ metros}$$

$$h_2 = 0 + 45 = 45 \text{ metros}$$

$$d_1 = 55 \times 10^3 \text{ metros}$$

$$d_2 = 9,50 \times 10^3 \text{ metros} \quad d = 64,50 \times 10^3 \text{ metros}$$

$$h_s = 20 \text{ metros (altura del obstáculo)}$$

$$a = 6,37 \times 10^6 \text{ metros (radio de la tierra)}$$

Para $K = 4/3$:

$$h_c = 465 - \frac{55 \times 10^3}{64,5 \times 10^3} (465 - 45) - \frac{55 \times 10^3 \times 9,50 \times 10^3}{2 \times 4/3 \times 6,37 \times 10^6} - 20$$

$$h_c = 56,10 \qquad 56,10 > 24,65$$

Para $K = 2/3$

$$h_c = 465 - \frac{55 \times 10^3}{64,5 \times 10^3} (465 - 45) - \frac{55 \times 10^3 \times 9,5 \times 10^3}{2 \times 2/3 \times 6,37 \times 10^6} - 20$$

$$h_c = 25,34 \qquad 25,34 > 24,65$$

Es decir que la condición se cumple para valores de $K = 4/3$ y $K = 2/3$ y con ello la primera zona de Fresnel se encuentra libre de obstáculo - con una altura de antena para este Tramo de 45 metros en cada estación. Pero debemos tomar en cuenta el cálculo de las pérdidas debido a la reflexión, ya que el recorrido del rayo reflejado como lo veremos más adelante se encuentra supereditado a la altura de las antenas.

En lo que se refiere a los Tramos de Radio: EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS y POSORJA - CERRO DE ANIMAS, en los diagramas de perfiles Fig. # 2.1.a y 2.1.d, podemos ver que se encuentran libre de todos los obstáculos que puedan perjudicar la señal y que la altura de las antenas están supereditadas al cálculo de las pérdidas por reflexión.

De esta forma corroboramos la utilidad de la estación repetidora Cerro de Animas, debido a que es posible efectuar la derivación hacia Playas y Posorja.

Debemos mencionar en cuanto respecta al tipo de torre de la estación EL CARMEN (Guayaquil), EL INSTITUTO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES - REGION 2 proyectó y se encuentra en la actualidad en construcción - un edificio - torre en el cerro EL CARMEN, con una altura de 36 metros, con una torre autosoportada de 30 metros, obra que será terminada a fines del año 1976.



2.3. PUNTOS DE REFLEXION. GENERALIDADES Y CALCULO

Los diagramas de perfiles trazados no solo nos determinan si existen o no adecuadas distancias de camino para la transmisión, sino que una carta de perfil puede también ser usada para determinar los puntos de re-flexión.

Cuando una onda plana choca con una superficie tal como la tierra, se refleja con un ángulo de reflexión igual al ángulo de incidencia.

Cuando la superficie reflectora tiene una conductividad infinita, la amplitud de la onda reflejada es igual a la amplitud de la onda incidente, y la onda reflejada tiene ya sea exactamente la misma fase o está con una fase exactamente opuesta a la onda incidente, según la polarización.

Con la tierra real, la onda reflejada tiende a ser de una amplitud menor que la incidente, y las relaciones de fase están modificadas con respecto a las que existen con un reflector infinitamente conductor. Es decir una reflexión fuerte será causada por un cuerpo lizo o por una tierra liza, mientras que una reflexión menos fuerte vendría de un terreno arbolado.

En general una onda fuertemente reflejada no es deseada por que puede cau

sar fuerte distorsión o desvanecimiento.

Debemos recordar que en propagación por microonda, la onda reflejada debe ser simultáneamente considerada con la onda directa. Es decir, la potencia en recepción puede ser tratada como la suma vectorial de las ondas.

En este caso la intensidad de campo E es :

$$E = E_0 \left(1 + R e^{j \frac{2\pi\Delta}{\lambda}} \right)$$

En donde:

E_0 = Intensidad de campo en el receptor

R = Coeficiente de reflexión de la tierra

λ = Longitud de onda

Δ = Diferencia de camino entre la onda directa y reflejada

Para tomar en cuenta la curvatura de la tierra, es conveniente que R sea reemplazado por el coeficiente equivalente de reflexión el cual es igual.

$$= R \cdot D \cdot S \cdot Z$$

En donde :

- R = Coeficiente de reflexión de la tierra considerada plana
- D = Coeficiente de reflexión considerando la curvatura de la tierra.
- S = Coeficiente de dispersión, debido a las rugosidades de la superficie de la tierra.
- Z = Coeficiente de difracción de la onda reflejada debido a montañas, edificios, etc.

El coeficiente equivalente de reflexión es reportado en laboratorio, como nos indica la tabla 2.3.a

T A B L A 2.3.a

	SUPERFICIE AGUA		ARROZAL		CAMPO		CIUDAD, FLORESTA, MONTAÑA.	
	Coeficiente	Atenuación de la señal reflejada (dB)	Coeficiente	Atenuación de la señal reflejada. (dB)	Coeficiente	Atenuación de la señal reflejada. (dB)	Coeficiente	Atenuación de la señal reflejada (dB)
2 Ghz	1,0	0	0,8	2	0,6	4	0,3	10
4 Ghz	1,0	0	0,8	2	0,5	6	0,2	14
6 Ghz	1,0	0	0,8	2	0,5	6	0,2	14
1 Ghz	1,0	0	0,8	2	0,4	8	0,16	16

PUNTOS DE REFLEXION. CALCULO

TRAMO DE RADIO: EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS ($T_1 - R_1$)

Calculamos los coeficientes \underline{c} y \underline{m} (ver apéndice # 3) partiendo de las dimensiones conocidas.

$$\begin{aligned}h_1 &= 450 \text{ metros} \\h_2 &= 130 \text{ metros} \\d &= 72,85 \text{ kilómetros} \\a &= 6,370 \text{ kilómetros (radio de la tierra)} \\K &= 4/3\end{aligned}$$

En donde:

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad h_1 > h_2$$

$$c = \frac{450 - 130}{450 + 130} = 0,552$$

$$m = \frac{d^2}{4 \times K \times a(h_1 + h_2)}$$

$$m = \frac{(72,85)^2}{4 \times 4/3 \times 6,37(450 + 130)} = 0,269$$

Utilizando la figura # 2.3.b (ver anéndice # 3) determinamos el parámetro $\underline{b} = 0,458$, luego determinamos las distancias d_1 y d_2 mediante las fórmulas siguientes:

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + \underline{b}) = \frac{72,85}{2} (1 + 0,458) = 53,11 \text{ kms.}$$

$$d_2 = \frac{d}{2} (1 - \underline{b}) = \frac{72,85}{2} (1 - 0,458) = 19,74 \text{ kms.}$$

En el diagrama de perfil de la figura # 2.1.a , podemos observar la ubicación del punto de reflexión, en donde notamos que la trayectoria que sigue la onda reflejada es obstruida por un obstáculo lo que significa que no tiene onda reflejada, que como indicamos anteriormente, una onda fuertemente reflejada puede causar desvanecimiento o distorsión de la señal.

Por consiguiente la altura de antena previamente seleccionada, tomando en cuenta condiciones de no obstrucción del 1^{er} elipsoide de Fresnel, es ratificado en virtud de que además la señal no es reflejada, de esta manera consideramos que la altura de antena en este Tramo, es de 30 metros para cada estación.

PUNTOS DE REFLEXION. CALCULO

Tramo de Radio: CERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₂)

Calculamos los coeficientes c y m (ver apéndice # 3) partiendo de las dimensiones conocidas.

$$h_1 = 465 \text{ metros}$$

$$h_2 = 45 \text{ metros}$$

$$d = 64,50 \text{ Kilómetros}$$

$$a = 6.370 \text{ Kilómetros (radio de la tierra)}$$

$$k = 4/3$$

En donde:

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad h_1 > h_2$$

$$c = \frac{465 - 45}{465 + 45} = 0,82$$

$$m = \frac{d^2}{4 \times k \times a(h_1 + h_2)}$$

$$m = \frac{(64,50)^2}{4 \times 4/3 \times 6,37 \times (465 + 45)} = 0,24$$

Utilizando la figura # 2.5.b (ver apéndice # 3) determinamos el parámetro $\underline{b} = 0,73$, luego determinamos las distancias d_1 y d_2 mediante las fórmulas siguientes:

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + \underline{b}) = \frac{64,50}{2} (1 + 0,73) = 55,79$$

$$d_2 = \frac{d}{2} (1 - \underline{b}) = \frac{64,50}{2} (1 - 0,73) = 8,71$$

En el diagrama de perfil de la figura # 2.1.b, podemos observar la ubicación del punto de reflexión, en donde notamos que la trayectoria que sigue la onda reflejada es obtruida por un obtáculo, lo que significa que no existe onda reflejada, ya que como mencionamos anteriormente, una onda reflejada puede causar desvanecimiento de la señal.

Por consiguiente la altura de antena previamente seleccionada, tomando en cuenta condiciones de no obstrucción del 1^{CR} elipsoide de Fresnel es ratificado en virtud de que además la señal no es reflejada, de esta manera la altura de antena en este tramo es de 45 metros en cada estación.

La tabla # 2.3.c muestra la altura de las antenas de todas las estaciones.

CAPITULO N° 3

- 3 Tramos del radio- enlace
- 3.1. Distribución de la atenuación en el Tramo
- 3.2. Cálculo de la atenuación por espacio libre y pérdidas en la líneas de alimentación de las antenas y filtros.
- 3.3. Determinación de las ganancias requeridas de las antenas y cálculo de la potencia de recepción.



3.1. DISTRIBUCION DE LA ATENUACION EN EL TRAMO

En la figura # 3.1.a se indican los distintos componentes de la "Atenuación total" entre los terminales de salida del transmisor y los de entrada del receptor.

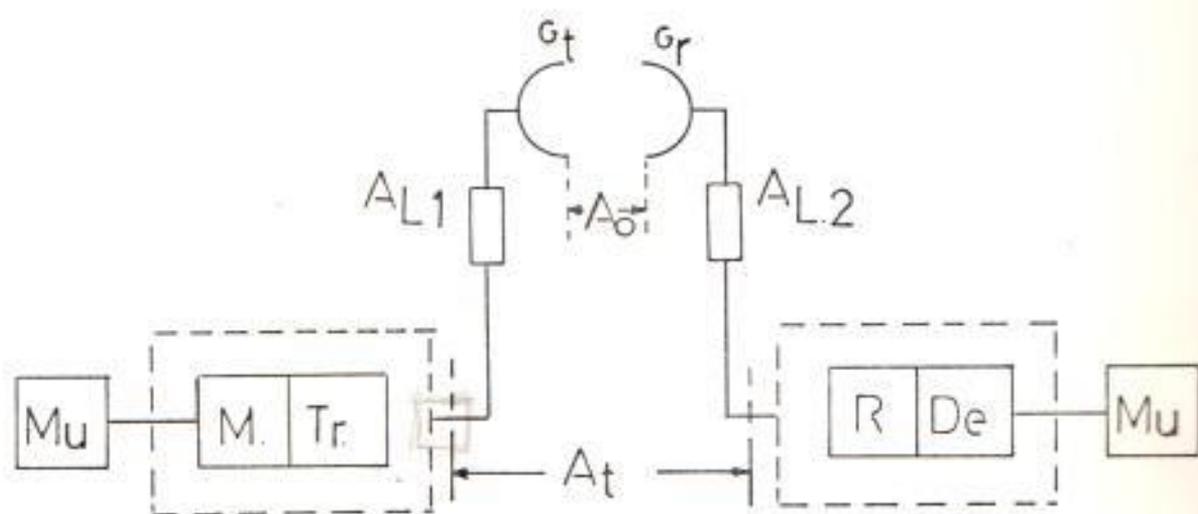


Figura # 3.1.a

Mu = Equipo multiplex

M = Modulador de RF

Tr = Transmisor

R = Receptor

De = Demodulador de RF

At = Atenuación total del recorrido de RF.

Ao = Atenuación del trayecto

AL1,2 = Pérdidas en los alimentadores (incluye guías de onda, filtros etc.)

Gt, r = Ganancia de antena

La atenuación total está compuesta de varios sumandos: A_0 es la pérdida básica de transmisión, considerada cuando no hay presencia de desvanecimiento, esta pérdida es la pérdida real entre las dos estaciones en los cuales se han usado radiadores isotrópicos.

Las eventuales pérdidas que pudieran parecer por obstrucciones están incluídas en A_0 .

g_1 , g_2 son ganancias de las antenas que se utilizan, respecto al radiador isotrópico.

A_{L1} , A_{L2} son las pérdidas en los alimentadores de las antenas, incluyendo aisladores, filtros y circuladores.

La atenuación total A_t es entonces igual:

$$A_t = A_0 - (G_t + G_r) + A_{L1} + A_{L2}$$

3.2. CALCULO DE LA ATENUACION POR ESPACIO LIBRE Y PERDIDAS EN LAS LINEAS
DE ALIMENTACION DE LAS ANTENAS Y FILTROS

Atenuación por espacio Libre. Cálculo

Tramo de Radio: EL CAÑEN - CERRO DE ANIMAS (T₁ - R₁) R₃ 70

Cálculo de la atenuación por espacio libre, partiendo de la distancia del tramo y de la frecuencia.

$$d = 72,85 \text{ Kms}$$

$$f = 4 \text{ Ghz}$$

Aplicando la fórmula (ver apéndice # 5)

$$\begin{aligned} A_o &= 92,40 + 20 \log. (d \text{ kms }) + 20 \log. f \text{ (Ghz)} \\ &= 92,40 + 20 \log. (72,85) + 20 \log. 4 \\ &= 92,40 + 37,25 + 12,04 \\ &= \underline{\underline{141,69 \text{ db}}} \end{aligned}$$

ATENUACION POR ESPACIO LIBRE. CALCULO

Tramo de Radio: CERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₂)

Cálculo de la atenuación por espacio libre, partiendo de la distancia del

*Antena de
Sistema de*

tramo y de la frecuencia.

$$d = 64,50 \text{ Kms}$$

$$f = 4 \text{ Ghz}$$

Aplicando la fórmula (ver apéndice # 5)

$$\begin{aligned}
 A_o &= 92,40 + 20 \log. d \text{ (kms)} + 20 \log. f \text{ (Ghz)} \\
 &= 92,40 + 20 \log. 64,50 + 20 \log. 4 \\
 &= 92,40 + 36,19 + 12,04 \\
 &= \underline{\underline{140,63 \text{ dB}}}
 \end{aligned}$$

Las pérdidas en los aisladores, circuladores y filtros, estimados en 3,0 dB en el tramo y de 0,03 dB/m en la guía de onda.

Tramo de Radio: EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS (T₁ - R₁)

$$\text{EL CARMEN (T }_1 \text{)} = 30 \text{ m} \times 0,03 \text{ dB/m} = 0,90 \text{ dB}$$

$$\text{CERRO DE ANIMAS} = 30 \text{ m} \times 0,03 \text{ dB/m} = 0,90 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdidas totales en el tramo} = 0,90 + 0,90 + 3 = \underline{\underline{4,8 \text{ dB}}}$$

Tramo de Radio: CERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₂)

$$\text{CERRO DE ANIMAS (T)} = 45 \text{ m} \times 0,03 \text{ dB/m} = 1,35 \text{ dB}$$

$$\text{SALINAS (T }_2 \text{)} = 45 \text{ m} \times 0,03 \text{ dB/m} = 1,35 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdidas totales en el tramo} = 1,35 + 1,35 + 3 = \underline{\underline{5,70 \text{ dB}}}$$

3.3. DETERMINACION DE LAS GANANCIAS REQUERIDAS DE LAS ANTENAS Y CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCION

Las antenas deben ser seleccionadas de tal forma que la potencia de entrada al receptor tenga un nivel normal.

La Recomendación 380-1 del CCIR, considerando que las interconexiones internacionales se hacen a banda base, nos dice al respecto que la potencia de recepción relativa por canal debe tener un nivel de -42 dBm.

La potencia de señal útil de recepción (P_s) es definida de la siguiente forma:

$$P_s(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - A_o - A_1$$

En donde los cuatro últimos términos corresponden a la atenuación total A_t , (ver ecuación 3.1.a)

$$A_t = A_o - (G_t + G_r) + A_1$$

luego, la potencia de señal útil de recepción es igual:

$$P_s(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) - A_t(\text{dB}) \quad (\text{Ecuación 3.3.a})$$



BIBLIOTECA

En donde:

$P_{t(\text{dBm})}$ = Potencia de transmisión relativa a 1 mW

La ganancia de una antena se encuentra determinada por la siguiente fórmula:

$$G_{(\text{dB})} = 10 \log. \eta \left[\left(\frac{D \pi}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 3.3.b})$$

En donde:

- η = Rendimiento que nos indica la disminución del área geométrica al área efectiva. Para antenas parabólicas = 0,5
- λ = Longitud de onda en metros
- D = Diámetro de la parábola en metros

Los valores calculados se encuentran dentro de los límites normales.

TRAMO DE RADIO: EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS (T₁ - R₁)

Cálculo de la ganancia de la Antena

Considerando la distancia de 72,85 kilómetros del Tramo, tomamos un diáme

tro de antena de 3 metros.

Aplicando la fórmula (ecuación 3.3.b)

$$G_{(dB)} = 10 \log \left[\eta \left(\frac{D \pi}{\lambda} \right)^2 \right] \text{ (dB)}$$

En donde:

$$D = 3 \text{ metros}$$

$$\eta = 0,5$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg.}}{4 \times 10^9 \text{ Hz}} = 0,075 \text{ metros}$$

Reemplazando tendremos:

$$G = 10 \log \left[0,5 \left(\frac{3, \pi}{7,5 \times 10^2} \right)^2 \right] = 38,97 \text{ dB}$$

Cálculo de la potencia de señal útil de recepción (P_s)

Asumiendo que la potencia de transmisión (P_t) sea de 1 watio (30 dBm) y aplicando la fórmula ecuación 3.1.a , tenemos:

$$P_s \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} - A_t \text{ (dBm)}$$

En donde: $A_{t(\text{dB})} = A_o - (G_t + G_r) + A_1$

$$A_o = 141,69 \text{ dB (ver capítulo 3.2.)}$$

$$A_1 = 4,8 \text{ dB (ver capítulo 3.2.)}$$

$$\text{y } G_t = G_r = 38,97 \text{ dB}$$

Luego:

$$A_t = 141,69 - (38,97 + 38,97) + 4,8 = 68,55 \text{ dB}$$

Luego la potencia de señal útil de recepción P_s es igual:

$$P_s = 30 - 68,55 = - 38,55 \text{ dBm}$$

TRAMO DE RADIO: CIERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₃)

Cálculo de la Ganancia de la Antena

Considerando la distancia de 64,50 kilómetros del Tramo, tomamos un diámetro de antena de 3 metros.

Aplicando la fórmula (ecuación 3.3.b)

$$G_{(dB)} = 10 \log. \left[\eta \left(\frac{D \cdot \pi}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (dB)$$

En donde:

$$D = 3 \text{ metros}$$

$$\eta = 0,5$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/seg.}}{4 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 0,075 \text{ metros}$$

Reemplazando tendremos:

$$G_{(dB)} = 10 \log. \left[0,5 \left(\frac{3 \cdot \pi}{0,075} \right)^2 \right] = 38,97 \text{ dB}$$

Cálculo de la potencia de señal útil de recepción (P_s)

Asumiendo que la potencia de transmisión (P_t) sea de 1 watio (30 dBm)
y aplicando la fórmula ecuación 3.1.a tenemos:

$$P_s(dBm) = P_t(dBm) - A_t(dB)$$

En donde: $A_{t(\text{dB})} = A_o - (G_t + G_r) + A_1$

$$A_o = 140,63 \text{ dB (ver capítulo 3.2.)}$$

$$A_1 = 5,70 \text{ dB (ver capítulo 3.2.)}$$

$$\text{y } G_t = G_r = 38,97 \text{ dB}$$

Luego:

$$A_t = 140,63 - (38,97 + 38,97) + 5,70 = 68,39 \text{ dB}$$

Luego la potencia de señal útil de recepción P_s es igual:

$$P_s = 30 - 68,39 = -38,39 \text{ dBm}$$

CAPITULO N° 4

- 4 Estimación de la calidad del enlace de microondas
- 4.1. Generalidades
- 4.2. Valor objetivo del ruido
- 4.3. Determinación del cociente señal-ruido en los receptores para un tiempo sin desvanecimiento
- 4.4. Distribución de los ruidos y elaboración del balance de ruido en el radio-enlace y en un canal superior
- 4.5. Nivel de umbral y diagrama de niveles.

4.1. GENERALIDADES

Uno de los factores de mayor importancia en un radio-enlace telefónico por microondas lo constituye el ruido. En el presente capítulo se calcula y se explica el comportamiento del ruido en el sistema.

4.2. VALOR OBJETIVO DEL RUIDO

El valor objetivo del ruido para los enlaces telefónicos es determinando por la Recomendación 395-1 del CCIR en la siguiente forma.

La distancia total de la ruta EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS - SALINAS es de 137,35 kms.

El valor objetivo del ruido es $3\text{pw/Lkm} + 200$ (pw)

$$3 \times 137,35 + 200 = 612,05 \text{ pw}$$

Los valores de potencia de ruido que se calculan no deben sobrepasar los límites del valor objetivo de ruido.

4.3. DETERMINACION DEL COCIENTE SEÑAL-RUIDO EN LOS RECEPTORES
PARA UN TIEMPO SIN DESVANECIMIENTO

El ruido térmico se obtiene como la suma del ruido térmico FM en función del nivel de entrada al receptor más el ruido residual del propio equipo.

El ruido térmico de FM en función del nivel de entrada al receptor puede obtenerse a partir de la siguiente fórmula:

$$s/r = 10 \log. \frac{P_s}{FKTB_o} + 20 \log. \frac{f_d}{f_m} + X_1 + X_2 \text{ ecuación 4.3.c.}$$

(ver apéndice # 7)

En donde:

$P_r = F K T B_o$ Potencia de ruido para el ancho del canal telefónico.

F = Constante de ruido a la entrada del receptor . El valor de la constante de ruido para este diseño es de 9,5 dB.

K = Constante de Boltzman $1,38 \times 10^{-23}$ Joule/°K.

T = 300°K temperatura ambiente en grados Kelvin.

B_o = Ancho del canal 3.100 Hz para telefonía.¹

Expresando el producto $K T B_o$ en nivel absoluto tenemos:

$$k T B_o = 1,38 \times 10^{-23} \frac{\text{Joule}}{^\circ\text{K}} \times 300 \text{ } ^\circ\text{K} \times 3,100 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ Joule} = \frac{1 \text{ watio}}{1 \text{ Hz}}$$

$$\text{Luego, } k T B_o = 1,283 \times 10^{-23} \text{ watio} \text{ o } 1,283 \times 10^{-14} \text{ mw}$$

Correspondiente a un nivel absoluto de:

$$10 \log. (1,283 \times 10^{-14}) \text{ dBm} = -138,92 \text{ dBm}$$

$$\text{Luego: } P_r = -138,92 \text{ dBm} + 9,5 \text{ dB} = -129,42 \text{ dB.}$$

La potencia de ruido mejorada debido a la modulación de frecuencia la expresamos como $(f_d / f_m)^2$ en donde:

f_d = Desviación de frecuencia producida por la potencia de referencia (1 mw en el nivel relativo 0 = 0dBmO)

f_m = Frecuencia de la modulante o información.

Para nuestros cálculos tenemos:

$$f_d = 200 \text{ KHz (ver tabla \# 4.3.a al final del capítulo)}$$

$$f_m = 1.248 \text{ KHz según Recomendación del CCIR \# 399}$$

Donde:

$$20 \log. \frac{f_d}{f_m} = 20 \log. \frac{200 \text{ KHz}}{1.248 \text{ KHz}} = - 15,90 \text{ dB.}$$

Según la Recomendación 404-1 se indica para la desviación de frecuencia el valor efectivo el cual solamente corresponde por razones de preénfasis al canal neutral. Vale aclarar que para todos los equipos cuya modulación es a frecuencia, se emplea una red de preénfasis para obtener una relación s/r constante en el ancho de banda. Sin preénfasis es decir con desviación de frecuencia constante en toda la banda, se tuviera una relación s/r inferior en los canales superiores.

Para obtener una relación s/r constante en todos los canales se intercala a la etapa de modulación una red de preénfasis, la cual provoca desviaciones menores en la parte inferior al punto neutral y permite desviaciones mayores más allá de ese punto.

La Recomendación 404 , nos da una tabla de valores de la desviación por canal (ver tabla # 4.3.a al final del capítulo).

Cuando se usan los circuitos preénfasis de acuerdo con el CCIR Recomen

dación # 275, se lo especifica por medio del valor X_2 .

$$X_2 = 5 - 10 \log. \left[1 + \frac{6,90}{1 + \frac{5,25}{\left(\frac{f_r}{f_m} - \frac{f_m}{f_r}\right)^2}} \right]$$

Donde f_r es la frecuencia de resonancia de la red de preénfasis.

El valor f_r lo podemos encontrar en la tabla # 4.3.b al final del capítulo.

Para nuestros cálculos tenemos:

$$f_r = 1.625 \text{ Khz}$$

$$f_m = 1.248 \text{ Khz según Recomendación del CCIR # 399}$$

Luego:

$$X_2 = 5 - 10 \log. \left[1 + \frac{6,90}{1 + \frac{5,25}{\left(\frac{1,625}{1,248} - \frac{1,248}{1,625}\right)^2}} \right]$$

$$X_2 = 5 - 10 \log. 1,36 = 3,67 \text{ dB}$$

Basado en los valores antes calculados, reemplazando en la ecuación 4.3.c. tenemos:

$$s/r = 119,69 + P_s \text{ (ecuación 4.3.d.)}$$

Es decir, el cociente señal-ruido expresado en función de la potencia de señal útil a la entrada del receptor.

TRAMO DE RADIO: EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS (T₁ - R₁)

Cálculo del Cociente Señal-Ruido

Partiendo de la ecuación 4.3.d

$$s/r = 119,69 + P_s \quad (\text{dB})$$

En donde: $P_s = -38,55 \text{ dBm}$ (ver capítulo # 3.3.)

Reemplazando tenemos:

$$s/r = 119,69 + (-38,55) = \underline{81,14 \text{ dB}}$$

Expresando el cociente señal ruido en pico watio (10^{12} wattios)

Como el nivel de la señal se supone cero dB las potencias de ruido son negativas y tienen como valor absoluto el de la relación señal ruido.

$$P_{(\text{pw})} = \text{antlog.} \frac{-81,14 + 90}{10} = 7,76 \text{ pico wattios}$$

TRAMO DE RADIO: CERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₃)

Cálculo del Cociente Señal-Ruido

Partiendo de la ecuación 4.3.d

$$s/r = 119,69 + P_s \quad (\text{dB})$$

En donde: $P_s = -38,39 \text{ dBm}$ (ver capítulo # 3.3.)

Reemplazando tenemos:

$$s/r = 119,69 + (-38,39) = 81,30 \text{ dB}$$

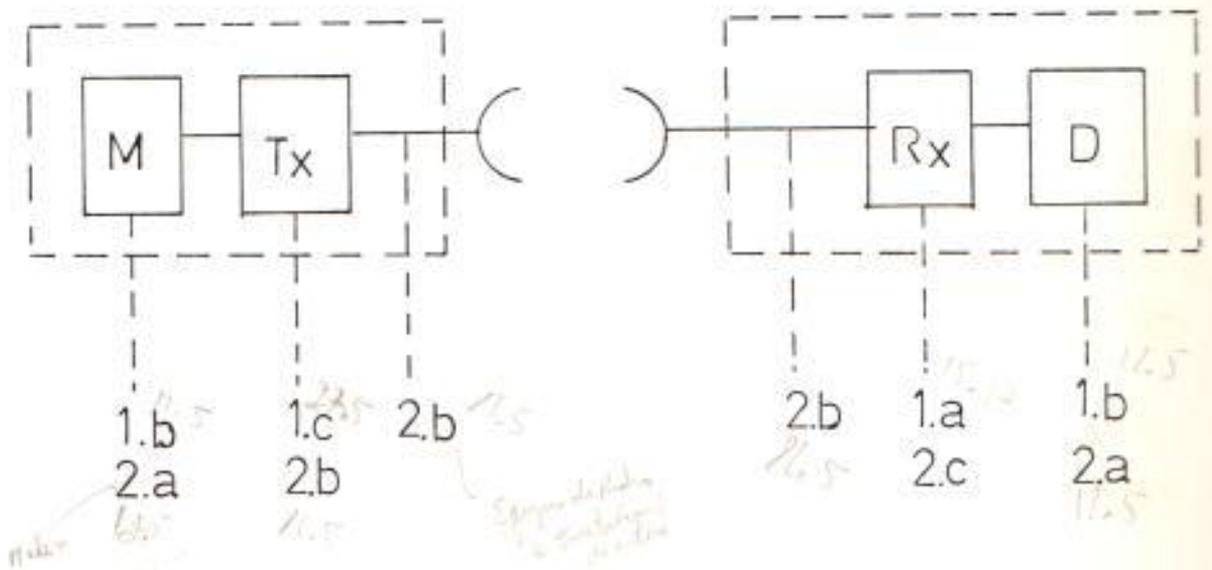
Expresando el ruido térmico en pico watio (10^{12} pico watio)

Como el nivel de la señal se supone cero dB las potencias de ruido son negativas y tienen como valor absoluto el de la relación señal ruido.

$$P \text{ (pw)} = \text{antlg} \frac{-81,30 + 90}{10} = 7,41 \text{ pico watos}$$

4.4. DISTRIBUCION DE LOS RUIDOS Y ELABORACION DEL BALANCE DE RUIDO EN EL RADIO ENLACE Y EN UN CANAL SUPERIOR

Para comprender sistemáticamente los ruidos que sirven de criterio en la evaluación de la calidad de un enlace de comunicación, será conveniente distribuirlos en la forma siguiente.



RUIDO BASICO.- (los cuales son térmicos)

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

RUIDO DE INTERMODULACION

Este tipo de ruido depende del volumen aplicado por no linealidades en los equipos y reflexiones multiplex en las instalaciones de las antenas.

- 2 a En los equipos MODEN
- 2 b En los equipos de radio y las instalaciones de la antenas.

En la tabla N^o 4.4.a hemos detallados los resultados mencionados en el párrafo 4.3. así como también los parámetros calculados en el capítulo 3.

T A B L A # 4.4.a

TRAMO	EL CARMEN CERRO DE ANIMAS	CERRO DE ANIMAS SALINAS	SUMA
Distancia (kms)	72,85	64,50	137,35
Atenuación de espacio libre A_0 (dB)	141,69	140,63	
Atenuación en las líneas de transmisión A_1 (dB)	4,8 <i>2,1</i>	5,7 <i>8</i>	
Díametro de las antenas (mts)	3/3	3/3	
Ganacias (dB)	38,97	38,97	
de antenas (dB)	38,97	38,97	
Potencia de señal útil en recepción P_s (dB)	-38,55	-38,39	
Atenuación total en la transmisión (dB)	68,55	68,39	
Ruido térmico <i>de los receptores</i> (dB)	81,14	81,30	
de los receptores pw	7,76	7,41	15,17

Una vez obtenido el ruido térmico de los receptores se puede efectuar el balance de ruido en el canal superior del enlace.

La tabla 4.4.b nos indica valores de experiencia para diferentes equipos. El ruido indicado para un equipo de radio o modem se compone de ruido básico y de intermodulación.

Para canales inferiores están permitidos valores mayores de potencia de ruido básico y de intermodulación, porque para ellos el ruido térmico del receptor es muy bajo.

En los valores del ruido de intermodulación está incluido el ruido causado por el efecto "línea larga" en la línea de antena, el cual resulta por la transmisión retardada por reflexión repetida. Se estima un valor de 5 μw /tramo en base de una reflexión mediana.

1	<u>RUIDO BASICOS (Térmicos)</u>	<u>μw</u>	<u>μw</u>
1.1.	Ruido térmico a la entrada del receptor	15,17	
1.2.	Ruido básico del modem 1 x 12,50	12,50	
1.3.	Ruido básico de los equipos IF y RF 2 x 13,75	27,50	
1.4.	Suma de los ruidos térmicos en tiempo sin desvanecimiento		55,17

2. RUIDO DE INTERMODULACION

2.1	Modem	1 x 12,50	12,50	
2.2	Equipos IF y RF	2 x 41,25	82,50	
2.3	Suma de los dos			95,00
3	Ruido total inducido en los dos tramos (5pw/tramo)			10,00
4	Ruido total en tiempo sin desvanecimiento			<u>160,17</u>
5	Ruido total permitido (CCIR Recomendación 395-1) 3 pw/km x 137,35 + 200 pw			<u>612,05</u>
6	Aumento permitido para el ruido térmico en el receptor (612,05 pw - 160,17 pw)			<u>451,88</u>
7	Reserva mínima para tiempo de desvanecimiento			

$$10 \log \frac{451,88}{15,17} = 14,74$$

El margen de desvanecimiento de 14,74 dB indica la reserva para desvanecimiento en cada uno de los tramos. Este valor indica una buena reserva por que es raro que al mismo instante haya en más de un solo tramo un desvanecimiento fuerte.

En el esquema 4.4.c detallamos el balance de ruido, considerando un desvanecimiento de 5 dB para cada tramo.

De la ecuación 4.3.d especificamos el cociente señal-ruido en

donde $s/r = 119,69 + P_s$, la cantidad 119,69 es un valor constante y P_s es la potencia de señal útil a la entrada del receptor.

Para el cálculo relacionado a la suma de los ruidos en los dos tramos, consideramos la potencia de ruido térmico para un tiempo con desvanecimiento. En lo que se refiere al ruido para un modem y equipos IF y RF tomamos los valores indicados en la tabla 4.4.b.

La potencia de ruido inducido se toma igualmente 5 pw/tramo.

El valor calculado y definido como reserva de planificación se lo utiliza para desvanecimientos más profundos y como reserva de ruido o envejecimientos de los equipos.

4.5. NIVEL DE UMBRAL Y DIAGRAMA DE NIVELES

En cuanto más larga la distancia entre repetidoras, tanto menor resulta el costo del sistema de radio-enlace.

Uno de los factores que marcan el límite, es el nivel de umbral. La relación señal-ruido en el caso del sistema FM está en proporción inversa a la intensidad de campo de recepción pero cuando la intensidad de campo eléctrico entrante baja por debajo de un determi



nado valor, el ruido se aumenta, perdiendo el sistema sus ventajas inherentes.

Este nivel de umbral se expresa con el valor que se obtiene cuando el ruido térmico total contenido en la banda antes del discriminador se iguala al valor pico de la onda entrante, y su presentación y cálculo es como sigue:

Para un ancho de banda de $B_{IF} = 20$ MHz y una figura de ruido $F = 9,5$ la potencia de ruido a la entrada del receptor es:

$$P_R = 9,5 \times K \times T_0 \times B_{IF}$$

En donde:

$$K = 1,38 \times 10^{23} \frac{\text{Joule}}{^\circ\text{K}} \quad (1 \text{ Joule} = 1 \text{ watio/Hz})$$

$$T_0 = 300 \text{ } ^\circ\text{K} \quad \text{y} \quad B_{IF} = 20 \text{ MHz}$$

$$K \times T_0 \times B = 1,38 \times 10^{23} \frac{\text{watio}}{^\circ\text{K Hz}} \times 300^\circ\text{K} \times 20 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$= 8,28 \times 10^{14}$$

$$P = 10 \log. \left(\frac{8,28 \times 10^{14} \text{ watio}}{1 \text{ watio}} \right) + 9,5 \text{ dB}$$

$$= - 121,32 \text{ dB}$$

El nivel de umbral es encontrado en conexión con las pérdidas del trayecto, en donde la potencia de señal útil en la entrada del receptor es tan solo mayor en 10 dB que la potencia del ruido.

Es decir el nivel de umbral es 111,32 dB (= 121,32 - 10 dB) asumiendo 1 watio (50 dBm) de potencia transmitida.

En el diagrama de niveles esquema 4.5.a se indica la línea de umbral en -81,32 dBm (111,32 - 30) y las curvas de atenuación en cada tramo hasta que exista una interrupción.

La reserva para la interrupción o margen sobre el umbral se obtiene de la diferencia del nivel de umbral con la atenuación total en cada A_t .

TRAYO: EL CARIEN - CERRO DE ANIMAS (T₁ - R₁)

$$111,32 \text{ dB} - 68,55 \text{ dB} = \underline{\underline{42,77 \text{ dB}}}$$

TRAYO: CERRO DE ANIMAS - SALINAS (R₁ - T₃)

$$111,32 \text{ dB} - 68,39 \text{ dB} = \underline{\underline{42,93 \text{ dB}}}$$

81
T A B L A # 4.3.a

MAXIMO NUMERO DE CANALES	VALOR R.M.s. DE DESVIACION POR CANAL f_d (khz)
12	35
24	35
60	50, 100, 200
120	50, 100, 200
300	200
600	200
960	200
1.260	140, 200
1.800	140
2.700	140

T A B L A # 4.3.b

MAXIMO NUMERO DE CANALES	f_r (khz)
24	135
60	375
120	690
300	1.625
600	3.325
960	5.325
1.260	7.045
1.800	10.225
2.700	15.485

T A B L A # 4.4.b

SISTEMA	RUIDOS BASICOS PARA UN EQUIPO IF-RF (pw)	RUIDOS BASICOS PARA UN MODEM (pw)	RUIDOS DE INTERNO DILACION PARA UN EQUIPO IF-RF (pw)	RUIDO DE INTERNO DILACION PARA UN MODEM (pw)
FM 14 (24) 400	28,75	-----	36,25	-----
FM 12 (24) 800	31,75	-----	93,75	-----
FM 960 / 1,989	15,50	45,00	46,50	45,00
FM 120 / 2.200	16,25	20,00	48,75	20,00
FM 300 / 4.000	13,75	12,50	41,25	12,50
FM 960 / 6.200	15,50	45,00	46,50	45,00
FM 960 / 6.200	16,75	28,00	50,25	28,00
FM 1.800 / 6.200	16,25	30,50	48,75	30,50
FM 120 / 7,200	25,00	-----	75,00	-----
FM 120 / 7.500	25,00	-----	75,00	-----

TRAMOS DE RADIO	LONGITUD (kms)	DIAMETRO DE ANTENA (m)	GANANCIAS DE LAS ANTENAS (dB)	PERDIDAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION (dB)	ATENUACION DE ESPACIO LIBRE (dB)	POTENCIA DE SEÑAL UTIL EN RECEPCION (dB)	VALOR CONSTANTE	SIM DESVANECIMIENTO		CON DESVANECIMIENTO		
								Relación del ruido termico del receptor s/r dBm	Potencia de ruido termico del receptor pw	Relación del ruido termico del receptor s/r 5dBm	Potencia de ruido termico pw	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	EL CARMEN - CERRO DE ANIMAS	72,85	3/3	38,97	4,8	141,69	- 38,55	119,69	81,14	7,76	76,14	24,51
2	CERRO DE ANIMAS - SALINAS	64,50	3/3	38,97	5,7	140,63	- 38,39	119,69	81,30	7,41	76,30	23,41
TOTAL								$P_{\text{termico}} = 15,17$	$P_{\text{termico}_5} = 47,5$			

A) Suma de los ruidos en la sección EL CARMEN - SALINAS

$$P_{R \text{ total}} = P_{\text{term } 5} + P_{R \text{ Cero } 5} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 5} + P_{R \text{ Cerro } 10}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 10} + P_{R \text{ Cerro } 15}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 15} + P_{R \text{ Cerro } 20}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 20} + P_{R \text{ Cerro } 25}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 25} + P_{R \text{ Cerro } 30}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 30} + P_{R \text{ Cerro } 35}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 35} + P_{R \text{ Cerro } 40}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 40} + P_{R \text{ Cerro } 45}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 45} + P_{R \text{ Cerro } 50}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 50} + P_{R \text{ Cerro } 55}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 55} + P_{R \text{ Cerro } 60}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 60} + P_{R \text{ Cerro } 65}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 65} + P_{R \text{ Cerro } 70}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 70} + P_{R \text{ Cerro } 75}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 75} + P_{R \text{ Cerro } 80}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 80} + P_{R \text{ Cerro } 85}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 85} + P_{R \text{ Cerro } 90}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 90} + P_{R \text{ Cerro } 95}} + \sqrt{P_{R \text{ Cerro } 95} + P_{R \text{ Cerro } 100}}$$

B) Potencia permitida según C.C.I.R. Recomendación # 395 - 1

$$P_{R \text{ total}} = 3 \times 137,35 + 200 = 612,05 \text{ pw}$$

C) Reserva de planificación 612,05 - 192,99 = 419,06 pw

* Ver Tabla 4.4.6

- 105 -
B I B L I O G R A F I A

- 1.- Microwave Communication.- Edited by Shigeru Yonezawa second edition.
- 2.- Microwave System Design.- How to Plan and Design Microwave Systems. Supervised by Hiroji Kurokawa, written by Takashi Matsumoto.
- 3.- Planning and Engineering of Radio Relay Links by Helmut Brodhage and Wilhelm Hornmuth 7th edition.
- 4.- Radio Relay Systems edited by Standar Elektrik Loreng AG, Stuttgart an ITT Associate.
- 5.- Transmission Systems.- by M.T. Hills and B.G. Evans
- 6.- Microwave Communication Engineering.- Radio Propagation and Site selection by Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation.
- 7.- Frequency Planning for Radio Relay Networks.- L.M. Ericsson.
- 8.- Engineering Considerations for Microwave Communications Systems. G.T.E. Lenkurt Incorporated.
- 9.- Propagation. Appendix to Section B.IV 3 of the Handbook. Economic and Technical aspects of choice of transmission Systems. Published by U.I.T.
- 10.- Recomendaciones del C.C.I.R.
- 11.- Microwave Communication Engineering Practical Microwave System Design by Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation.