

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DISEÑO DE UN SISTEMA BIDIRECCIONAL
DE MICROONDAS DE ENLACE GUAYAQUIL - SALINAS
PARA TELEVISION A COLOR

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO

INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTADO POR

LUIS ERNESTO PINOS HERNANDEZ

GUAYAQUIL - ECUADOR

1979

7 6637



D-6637

Rubén Ecuero
6/2/02

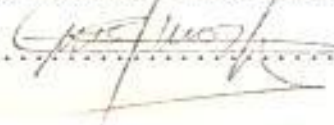
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DISEÑO DE UN SISTEMA BIDIRECCIONAL
DE MICROONDAS DE ENLACE GUAYAQUIL - SALINAS
PARA TELEVISION A COLOR

TESIS DE GRADO

AUTOR :

LUIS ERNESTO PINOS HERNANDEZ


.....

DIRECTOR DE TESIS :

ING. CARLOS BECERRA ESCUDERO

.....

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 POLITECNICA DEL LITORAL " " .

(REGLAMENTOS EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL)

Luis Ernesto Pinos Hernández

A mi mujer Paca y a mi hija Mayra
con todo mi amor.

Mi reconocimiento de gratitud por la valiosa
colaboración brindada por el Ing. CARLOS BE-
CERRA ESCUDERO, director de tesis.

Mi reconocimiento de gratitud al Ing. GUSTAVO
FALCONI PEET por su decisiva colaboración pa-
ra la elaboración de ésta tesis.

INDICE

	Pag.
CAPITULO # 1	
1 INTRUDUCCION	9
- Enfoque histórico	11
CAPITULO # 2	
2 DISEÑO DE RUTA PARA EL ENLACE	13
2.1 ESTUDIO DE CAMPO Y DETERMINACION DE LA RUTA OPTIMA	14
2.2 ESTUDIO DE PROPAGACION EN LA RUTA ESCOGIDA	16
2.2.1 Cerro del Carmen	16
2.2.2 Cerro de Animas	16
2.2.3 Cerro los Capay	17
2.3 PERFILES DEL TRAYECTO, GENERALIDADES, GRAFICOS	17
2.3.1 Generalidades	18
2.3.2 Gráficos	18
2.4 CALCULO DE LAS ZONAS DE FRESNEL, GRAFICOS	25
2.4.1 Gráficos	25
2.5 CALCULO DE ALTURA OPTIMA DE LAS ANTENAS	31
2.5.1 Calculo de los puntos de reflexión en el tramo Cerro del Carmen-- Cerro de Animas	32
2.5.2 Cálculo de los puntos de reflexión en el tramo Cerro de Animas-- Cerro los Capay	33
2.6 CALCULO DE LA ATENUACION POR ESPACIO LIBRE Y PERDIDAS EN LAS LI- NEAS DE ALIMENTACION DE LAS ANTENAS Y FILTROS	35
2.6.1 Diagrama general de la atenuación	35

2.6.2	Atenuación por espacio libre del tramo Cerro del Carmen - Cerro de Animas	38
2.6.3	Atenuación por espacio libre en el tramo Cerro de Animas - Cerro los Capay	39
2.6.4	Pérdidas en las líneas de alimentación y filtros	39
2.7	DETERMINACION DE LAS GANANCIAS REQUERIDAS DE LAS ANTENAS, Y CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCION	42
2.7.1	Ganancia de antena requerida para el tramo Cerro del Carmen --- Cerro de Animas	42
2.7.2	Ganancia de antena requerida para el tramo Cerro de Animas - Cerro los Capay	45
CAPITULO # 3		
3	ESTUDIO DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA SENAL DE TELEVISION	46
3.1	SELECCION DEL TRANSMISOR	49
3.2	ACOPLAMIENTO DE ANTENA	54
3.3	CALCULO DE ALTURA EFECTIVA DE ANTENA	58
3.3.1	Tabulación de las alturas desde la base de la antena	58
3.4	CALCULO DE POTENCIA EFECTIVA IRRADIADA	60
3.5	DETERMINACION DE LOS LOBULOS DE IRRADIACION	65
CAPITULO # 4		
4	CONCLUSIONES	70
4.1	SELECCION DE LOS EQUIPOS	71
4.1.1	Selección de los equipos para el enlace de microondas	71
4.1.2	Selección de los equipos para la señal de televisión VHF	72
4.2	RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS EQUIPOS SELECCIONADOS	73
4.2.1	Mediciones en el sistema de microondas	74

	Pag.
4.2.2 Mediciones en el sistema de VHF	88
4.3 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE CALCULOS TEORICOS Y RESULTADOS DEL SISTEMA SELECCIONADO	101
4.3.1 Análisis del enlace de microondas	101
4.3.2 Análisis del sistema en VHF	103
4.4 RECOMENDACIONES	104
APENDICE # 1	106
APENDICE # 2	109
APENDICE # 3	117
APENDICE # 4	119
APENDICE # 5	121
APENDICE # 6	129
APENDICE # 7	138
APENDICE # 8	139
5 BIBLIOGRAFIA	145
Nomenclatura	146

CAPITULO # 1

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es enfocar un problema de propagación mediante microondas y VHF desde un punto de vista práctico, y hacer una evaluación comparativa entre los cálculos teóricos y los resultados obtenidos.

Con este fin se ha dividido el trabajo en tres capítulos principales. En el capítulo # 2 se estudia la propagación de las señales en un enlace de microondas que unirá el punto donde se origina la señal de televisión hasta el sitio donde se desea irradiar dicha señal. El capítulo # 3 estudia la propagación de la señal de televisión y los parámetros que influyen sobre la señal transmitida hasta un receptor promedio, y la calidad de la señal de llegada que es en última instancia el objetivo de este trabajo, desde el punto de vista práctico. El capítulo # 4 trata de hacer una evaluación de los resultados obtenidos para lo cual se transmitieron señales patrón y se observaron los resultados.

En el enlace de microondas se fotografiaron las señales de entrada y salida del sistema, y de estas se puede sacar conclusiones que indicaran el comportamiento del sistema.

En el estudio de propagación de VHF se quiere evaluar los valores de intensidad de campo en los lugares donde se desea cubrir con las señales de televisión y para verificar los valores obtenidos teóricamente hacer mediciones de intensidad de campo en el terreno, la comparación de los valores calculados; los valores observados nos ayudarán a analizar los factores reales que influye sobre la señal de tele-

visión en color.

Enfoque histórico

Las primeras experiencias a saber, realizadas en el Ecuador sobre televisión, se desarrollaron en Guayaquil en lo que fue un circuito cerrado de televisión montado por el técnico Europeo Hans Schaffer.

La primera transmisión en circuito cerrado se efectuó el martes 29 de septiembre de 1959 en los estudios de Radio Zenit situados en ese entonces en 9 de Octubre 720 y Boyacá.

Una cámara sencilla, un equipo de sonido, y el único monitor en el salón auditorium de Radio Zenit, un equipo de cine y el único micrófono de boom, sirvieron para transmitir los primeros programas en vivo que fueron observados por exclusivos invitados en ese entonces.

El 12 de diciembre de 1960 se lanzó al aire de manera oficial en Guayaquil y por primera vez en el Ecuador, la estación comercial HC2PTVE Canal 4.

Estos son los hechos que cronológicamente abrieron el paso para la tecnología de la televisión en el Ecuador, poco a poco nuevas plantas de transmisión fueron instaladas en el país, correspondiendo a Quito y Guayaquil por motivos comerciales el mayor adelanto en la rama.

El 23 de febrero de 1973 Canal 4 Teleamazonas lanza al aire en la ciudad de Quito y por primera vez en el Ecuador en forma oficial, una señal comercial de televisión a color, utilizando para ese efecto el sistema NTSC, de vigencia en los Estados Unidos de Norteamérica, --

por sus características de compatibilidad con el anterior sistema en blanco y negro.

En la actualidad al tiempo de realizar esta tesis el Ecuador cuenta con cuatro redes nacionales importantes de transmisión de televisión a color mediante el sistema NTSC utilizando para el efecto un complejo sistema de comunicación y enlace en el cual se usan fundamentalmente redes de microondas y sistemas de repetidoras por demodulación directa. Cubriendo en la actualidad casi todo el territorio nacional con un total de 33 estaciones repetidoras, 5 redes de enlace de microondas con un total aproximado de 1750 Km, que hablan de la magnitud del sistema montado.

Adicionalmente cada empresa tiene equipos de planta y portátiles, algunos de ellos de la tecnología de máximo nivel en el campo electrónico; por otro lado se empieza a entrar en el campo de los microcomputadores para fines específicos de control y estabilidad de la señal a transmitirse.

CAPITULO # 2

DISEÑO DE RUTA PARA EL ENLACE

Este capítulo tiene como finalidad hacer el estudio de ingeniería de un enlace mediante microondas, para transmitir una señal de televisión a color, desde Guayaquil a Salinas y viceversa.

Parámetros tales como relación señal ruido, nivel de desvanecimiento, respuesta de frecuencias, etc. adquieren fundamental importancia en un enlace para televisión porque la vista es muy sensible de percibir cualquier falla en la pantalla de televisión que es en última instancia el objetivo de este trabajo, sin embargo en este capítulo se tratará específicamente el diseño del enlace de microondas.

2.1 ESTUDIO DE CAMPO Y DETERMINACION DE LA RUTA OPTIMA

Una parte fundamental en el diseño de un sistema de enlace mediante microondas es la determinación de la ruta de sistema y de la ubicación geográfica de los puntos inicial, final y de enlace.

La ruta escogida deberá tener ciertas características especiales que correspondan a la propiedad principal de propagación de microondas, que es el viajar en línea recta, y que cualquier obstrucción geográfica en su camino desviará el haz de ondas electromagnéticas, haciendo imposible la comunicación entre dos puntos. Además, debe considerarse el grado de reflexión que estas ondas puedan tener y que causarán perturbación de la señal a transmitirse. La cantidad de reflexión de las ondas está determinada por la topografía del terreno y su vegetación, entre otras cosas.

La selección de los puntos de transmisión, recepción y enlace,

deberá ser ejecutada tomando en cuenta la altura de ellos sobre el nivel del mar, su posición geográfica, el grado de accesibilidad a dichos puntos y la posibilidad de suministro de energía para consumo de los e quipos.

Luego de una revisión de la geografía del terreno se escogie - ron los siguientes puntos, los cuales son ilustrados en la figura 2.1

a) CERRO DEL CARMEN

Situación geográfica (*)	2° 10'	44.26"	LS
	79° 52'	51.77"	LO
Altura sobre el nivel del mar		91.44 m	

b) CERRO DE ANIMAS

Situación geográfica	2° 28'	12.62"	LS
	80° 27'	58.57"	LO
Altura sobre el nivel del mar		420 m	

c) CERRO LOS CAPAY

Situación geográfica	20° 12'	87.00"	LS
	80° 51'	41.19"	LO
Altura sobre el nivel del mar		88 m	

(*) Para encontrar los valores de las coordenadas de los puntos Cerro del Carmen, Cerro de Animas, Cerro Los Capay se usaron cartas topográficas a escala 1:50000, proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar, y son las siguientes : "Carta Guayaquil" con denominación NV-A3 # 3687-111, Carta MV-D1 # 3586IV, Carta Salinas con denominación MV-A-3.

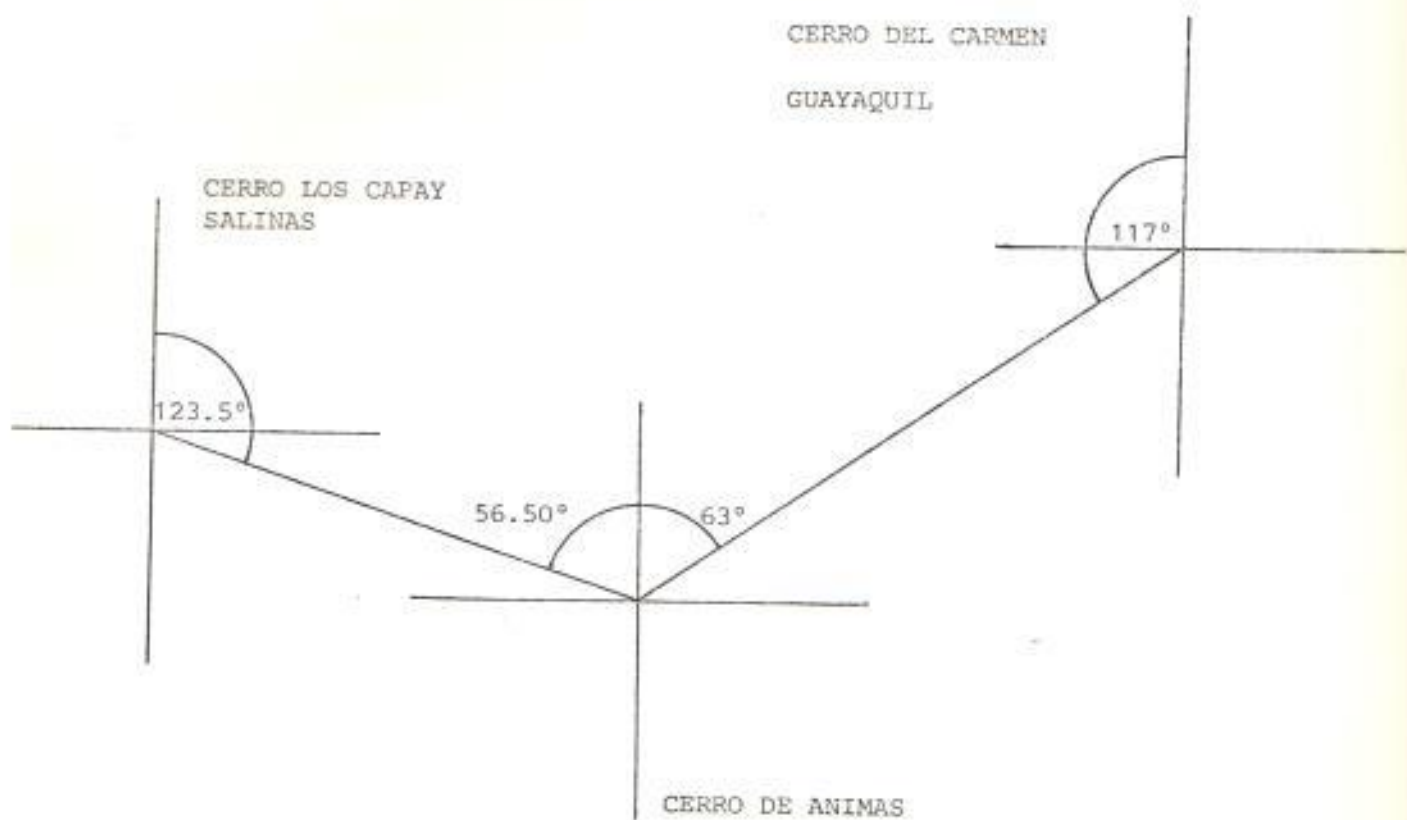


Fig. 2.1 Diagrama del enlace

2.2 ESTUDIO DE PROPAGACION EN LA RUTA ESCOGIDA

Esta sección tiene como finalidad hacer un análisis de cada uno de los puntos escogidos para el enlace.

Para encontrar estos puntos se usaron cartas topográficas a escala 1:50000 de la Península de Santa Elena, se hicieron viajes para realizar un reconocimiento del terreno y de esta forma verificar datos de importancia, como accesibilidad y suministro de energía.

Finalmente, se ha escogido los sitios más adecuados en base a las siguientes razones :

2.2.1 Cerro del Carmen

Se escogió este cerro porque tiene acceso por vía pavimentada, existe suministro de energía por línea de distribución urbana, y una altura adecuada de 91.44 m.

2.2.2 Cerro de Animas

De acuerdo al análisis de la ruta no era posible un enlace directo, ya que los cerros de Saya, Cerro Calicante y Cerro Panamá, entre otros, tapan la línea de vista directa entre los Cerros del Carmen y Guayaquil y de Los Capay en Salinas, además de que aún en caso de que existiera línea de vista la atenuación por espacio libre sería muy elevada impidiendo llegar con la calidad y confiabilidad que requiere una señal de televisión en color. De acuerdo a estas consideraciones, se concluye en la necesidad de una repetidora que nos sirva de enlace.

El Cerro de Animas resultó ser la alternativa, pues cuenta con 420 m de altura sobre el nivel del mar, además con una vía de penetración a la altura del Km. 87 de la vía Guayaquil - Salinas, que va hasta la cumbre del cerro y es transitable durante todo el año, lo cual permite el transporte de equipo y brinda facilidad de llegar a ellos con fines de mantenimiento.

En cuanto al suministro de energía, esta se tomaría de un generador instalado y mantenido por IETEL en ese punto desde tiempo atrás.

2.2.3 Cerro Los Capay

Para escoger este punto se debió pensar no solo en la confiabilidad del enlace de microondas, sino además en un punto que nos permita cubrir en la forma más eficiente la Península de Santa Elena con la señal de televisión que deberá transmitirse finalmente.

En este caso también existe un camino transitable que facilita la instalación y el posterior mantenimiento del equipo, en este caso no solo de microondas sino del transmisor de televisión.

El suministro de energía se puede tomar de la red de distribución que llega hasta el punto

2.3 PERFILES DEL TRAYECTO, GENERALIDADES, GRAFICOS

Una parte fundamental en el estudio de un enlace de microondas es el trazado de los perfiles; esto es, graficar la topografía de la ruta para averiguar si tiene línea de vista directa o si hay obstruc-

ciones que impiden al haz de microondas llegar al receptor.

2.3.1 Generalidades

Para fines prácticos, la tierra se comporta como si tuviera un radio mayor que el normal, en un valor que depende de la temperatura - del medio, porcentaje de humedad, altura, etc. (ver apéndice # 1). En este trabajo se usa la constante $4/3$ como el valor de K por ser el valor en situación normal.

2.3.2 Gráficos

A continuación se presenta la tabulación de las alturas de la geografía de la ruta y los perfiles trazados en base a dicha tabulación. Finalmente, en el apéndice # 2 se ilustran los mapas del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50000) que fueron utilizados para encontrar los datos tabulados en esta sección.

a) TRAMO CERRO DEL CARMEN - CERRO DE ANIMAS

Distancia total del tramo : 72.35 Km

DPK = Distancia a partir del Cerro del Carmen, en Km

ATM = Altura del terreno, en metros

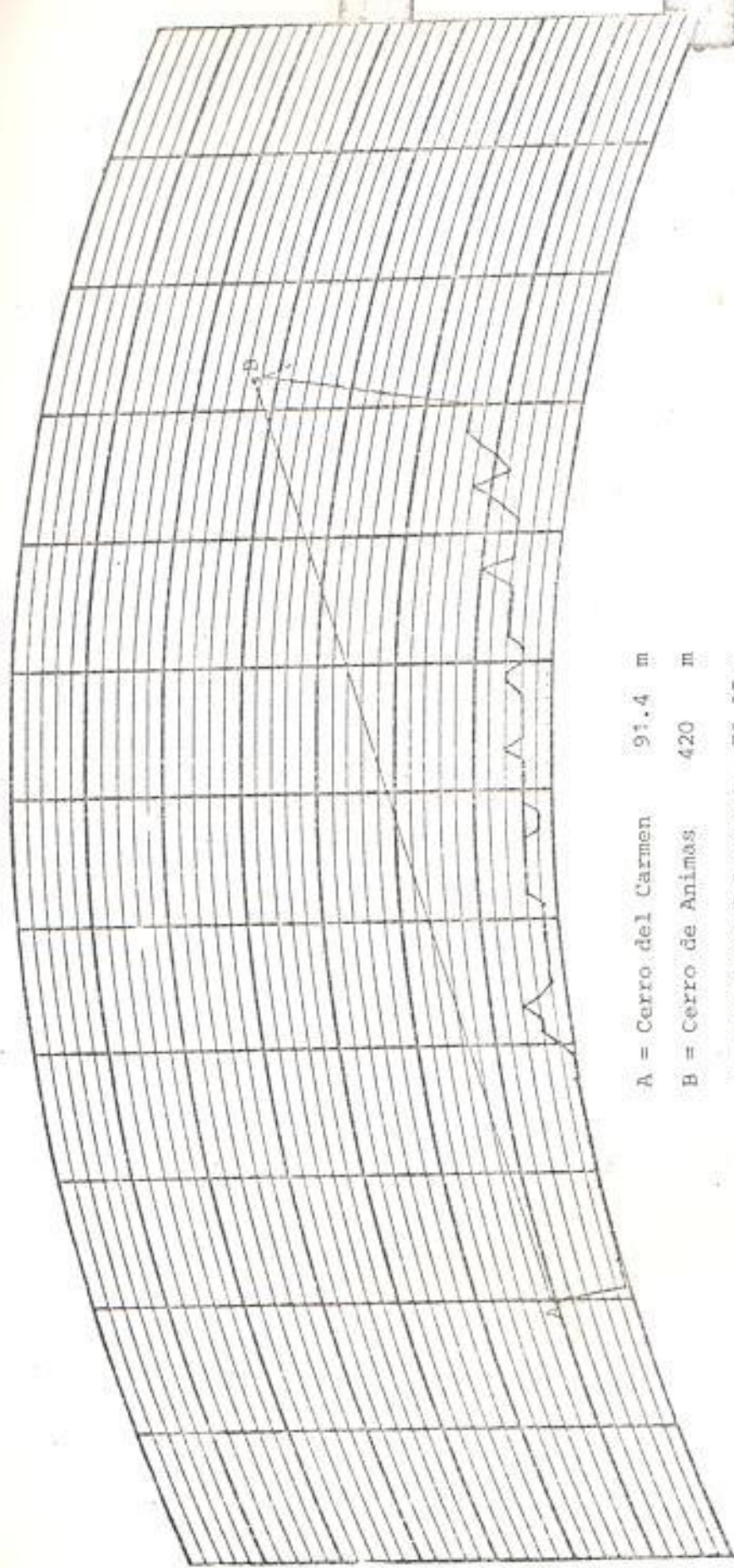
DPK	ATM	DPK	ATM
1	91.44	3	4
2	4	4	4

Continuación

DPK	ATM	DPK	ATM
5	4	27	20
6	4	28	20
7	2	29	20
8	0	30	20
9	2	31	20
10	2	32	40
11	0	33	40
12	2	34	40
13	0	35	40
14	2	36	40
15	2	37	20
16	2	38	20
17	2	39	40
18	2	40	40
19	2	41	40
20	20	42	40
21	40	43	60
22	40	44	40
23	60	45	40
24	40	46	40
25	20	47	40
26	20	48	60

Continuación

DPK	ATM	DPK	ATM
49	60	62	80
50	40	63	100
51	40	64	120
52	60	65	80
53	60	66	100
54	60	67	120
55	60	68	140
56	60	69	140
57	100	70	140
58	60	71	260
59	60	71.5	320
60	60	72	380
61	60	72.35	420
CERRO DE ANIMAS			



A = Cerro del Carmen 91.4 m
 B = Cerro de Animas 420 m
 d = Longitud del tramo 72.35 m

Escala : $d = 10 \text{ Km} / \text{div}$

$h = 100 \text{ m} / \text{div}$

$K = 4 / 3$

Fig 2.2 Enlace Cerro del Carmen - Cerro de Animas

b) TRAMO CERRO DE ANIMAS - CERRO LOS CAPAY

Distancia total del tramo : 52.80 Km

DPK = Distancia a partir del Cerro de Animas, en Km

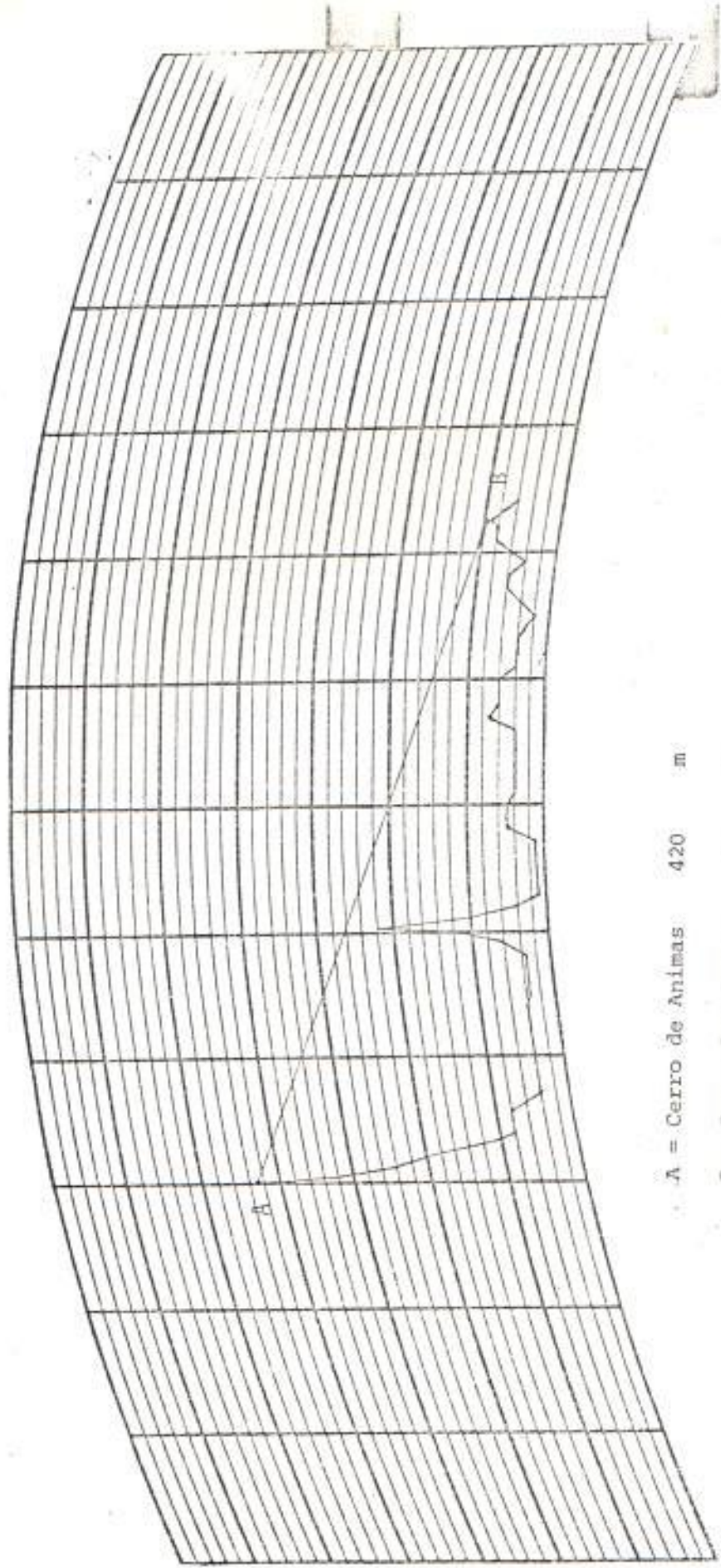
ATM = Altura del terreno, en metros

DPK	ATM	DPK	ATM
0	420	18	34
0.5	315	19	60
1	240	20	120
2	200	21	220
3	100	22	100
4	80	23	40
5	80	24	10
6	80	25	10
7	40	26	10
8	40	27	10
9	40	28	30
10	40	29	37
11	40	30	30
12	40	31	40
13	40	32	40
14	40	33	40
15	35	34	40
16	35	35	40
17	35	36	40

Continuación

DPK	ATM	DPK	ATM
37	67	45	20
38	60	46	40
39	60	47	60
40	60	48	60
41	40	49	40
42	40	50	60
43	30	51	80
44	30	52.80	88

CERRO LOS CAPAY



A = Cerro de Animas 420 m

B = Cerro los Capay 88 m

d = Longitud del tramo 52.80 m

Escala : d = 10 Km / div

h = 100 m / div

K = 4 / 3

Fig. 2.3 Enlace Cerro de Animas
Cerro los Capay

La propagación de las ondas electromagnética en frecuencias correspondiente al rango de las microondas se realiza a través de topografía y es afectada por la presencia de la tierra o por las condiciones climáticas, de tal forma que la intensidad de la señal recibida es generalmente menor que la esperada en el espacio libre o vacío.

Conocemos que existe una infinidad de caminos que tomarán las ondas desde el transmisor hasta el receptor y por lo tanto una infinidad de distancias que recorrerán las ondas hacia su destino. Si en la figura 2.4 el camino TP'R es mayor en $\lambda/2$ al camino directo TPR, la onda llegará con una diferencia de fase de 180° , y el resultado será restarse a la señal directa. Si por el contrario, el camino TP'R es mayor con $\lambda/4$ del valor del camino directo esta onda llegará en fase y el resultado será sumarse a la señal directa.

La fórmula para la primera zona de Fresnel es^(*):

$$F(1) = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{f(\text{Ghz}) \times d}} \quad (2.1)$$

2.4.1 Gráficos

La primera zona de Fresnel nos da una idea de la claridad existente entre el transmisor y el receptor.

(*) El cálculo de las zonas de Fresnel se muestran en el apéndice # 3

En la tabla siguiente se hallan tabulados los valores del radio de la primera zona de Fresnel del tramo Cerro del Carmen - Zona de Animas versus la distancia a partir del Cerro del Carmen (en kilómétros).

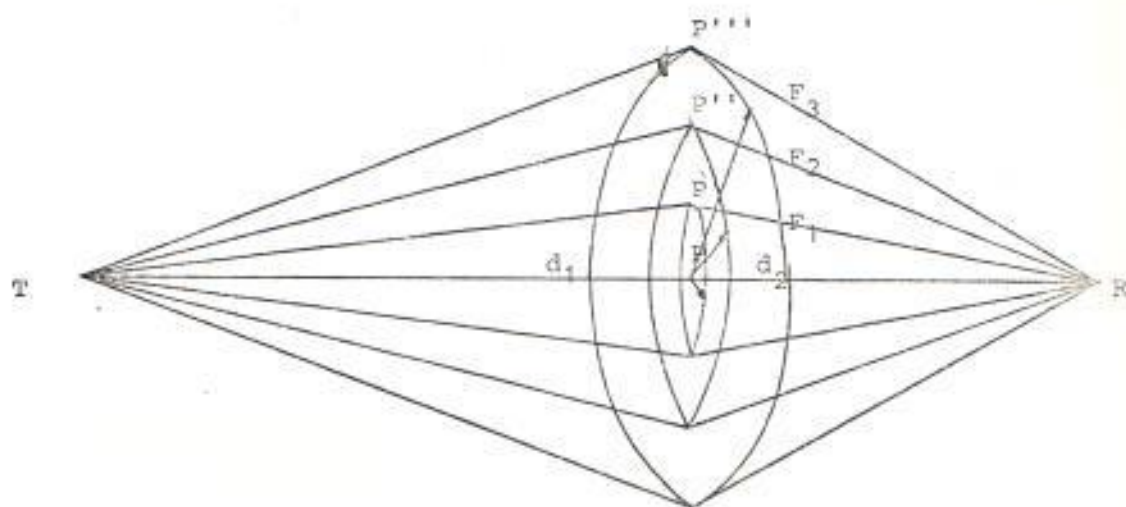


Fig. 2.4 Zonas de Fresnel

a) PRIMERA ZONA DE FRESNEL EN EL TRAMO CERRO DEL CARMEN - CERRO DE ANIMAS.

DCK = Distancia a partir del Cerro del Carmen, en Km

RPF = Radio de la primera zona de Fresnel, en metros.

DCK	RPF	DCK	RPF
1	12.16	3	20.77
2	17.08	4	23.81

Continuación

DCK	RPF	DCK	RPF
5	26.42	27	50.38
6	28.73	28	50.74
7	30.80	29	51.05
8	32.67	30	51.32
9	34.38	31	51.55
10	35.95	32	51.74
11	37.40	33	51.89
12	38.75	34	51.99
13	39.99	35	52.06
14	41.15	36	52.09
15	42.23	37	52.07
16	43.23	38	52.02
17	44.17	39	51.93
18	45.03	40	51.79
19	45.84	41	51.62
20	46.59	42	51.41
21	47.28	43	51.15
22	47.92	44	50.85
23	48.51	45	50.51
24	49.05	46	50.13
25	49.54	47	49.70
26	49.98	48	49.22

Continuación

DCK	RPF	DCK	RPF
49	48.70	61	37.89
50	48.13	62	36.47
51	47.51	63	34.95
52	46.84	64	33.28
53	46.11	65	31.47
54	45.32	66	29.48
55	44.48	67	27.29
56	43.47	68	24.76
57	42.59	69	21.89
58	41.54	70	18.47
59	40.41	71	14.10
60	39.19		

CERRO DE ANIMAS

b) PRIMERA ZONA DE FRESNEL EN EL TRAMO CERRO DE ANIMAS - CERRO DE LOS CAPAY

DCK = Distancia a partir de Cerro de Animas, en Km

RPF = Radio de la primera zona de Fresnel, en metros.

DCK	RPF	DCK	RPF
1	12.13	19	42.71
2	16.99	20	43.17
3	20.60	21	43.56
4	23.55	22	43.87
5	26.01	23	44.13
6	28.24	24	44.31
7	30.18	25	44.43
8	31.91	26	44.49
9	33.46	27	44.48
10	34.87	28	44.41
11	36.14	29	44.28
12	37.29	30	44.08
13	38.24	31	43.82
14	39.28	32	43.48
15	40.13	33	43.08
16	40.90	34	42.61
17	41.58	35	42.07
18	42.18	36	41.45

Continuación

DCK	RPF	DCK	RPF
37	40.75	45	31.38
38	39.97	46	29.81
39	39.10	47	27.83
40	38.14	48	25.58
41	37.05	49	23.00
42	35.90	50	19.94
43	34.60	51	16.15
44	33.10	52	10.87

CERRO LOS CAPAY

Para antenas elevadas de transmisión y recepción y con línea de vista entre ellas, la onda directa y la onda reflejada se combinan para dar una señal resultante. La onda reflejada varía en magnitud y fase, dependiendo de las características del terreno, la polarización de la onda incidente, etc.

Para hallar los puntos de reflexión, primero hallamos los parámetros c y m , mediante :

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad (2.2)$$

$$m = \frac{d^2}{4 \times K \times a \times (h_1 + h_2)} \quad (2.3)$$

en donde :

h_1 = altura de la antena # 1 en metros

h_2 = altura de la antena # 2 en metros

d = longitud del tramo en kilómetros

a = radio de la tierra en kilómetros

K = constante de proporcionalidad (4/3)

con estos valores de constante y por medio del gráfico del apéndice #4 observamos el valor de b ; y con este valor encontramos las distancias d_1 , y d_2 por medio de las siguientes fórmulas :

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + b) \quad (2.4)$$

$$d_2 = \frac{d}{2} (1 - b) \quad (2.5)$$

El razonamiento que se sigue para optimizar la altura de una antena consiste en encontrar los puntos de reflexión en el tramo en cuestión y determinar, si fuera necesario, la posición y la altura de las antenas para evitar obstrucciones, especialmente de la primera zona de Fresnel.

2.5.1 Cálculo de los puntos de reflexión en el tramo Cerro del Carmen-Cerro de Animas

Los valores de los parámetros para este tramo son los siguientes :

a	=	6370	Km	(radio de la tierra)
h ₁	=	96.44	m	(altura de alimentación de antena, Cerro del Carmen)
h ₂	=	425	m	(altura de alimentación de antena, Cerro de Animas)
d	=	72.35	Km	(longitud del tramo)

que nos dan los valores :

c	=	0.63
m	=	0.295

Del nomograma del apéndice #4 encontramos el valor de $b = 0.52$

Aplicando las fórmulas (2.4 - 2.5) encontramos :

$$d_1 = 54.99 \quad \text{Km}$$

$$d_2 = 17.36 \quad \text{Km}$$

Si observamos el trayecto de la onda reflejada en el gráfico - de la figura 2.5, se puede notar que es obstruido por un obstáculo, por tanto este tramo no tiene reflexión. Como consecuencia de la no obstrucción de la primera zona de Fresnel y debido a que no hay reflexión por la obstrucción natural, se puede concluir que las alturas de las antenas son las adecuadas.

2.5.2 Cálculo de los puntos de reflexión en el tramo Cerro de Animas - Cerro Los Capay.

Los valores de los parámetros para este tramo son los siguientes :

- a = 6370 Km (radio de la tierra)
- h_1 = 425 m (altura de alimentación de antena, en Cerro de Animas).
- h_2 = 93 m (altura de alimentación de antena, en Cerro Los Capay)
- d = 52.8 Km (longitud del tramo)

aplicando las fórmulas (2.2 - 2.3), nos dan los valores :

$$c = 0.64$$

$$m = 0.158$$

De el nomograma del apéndice #4 encontramos que $b = 0.586$

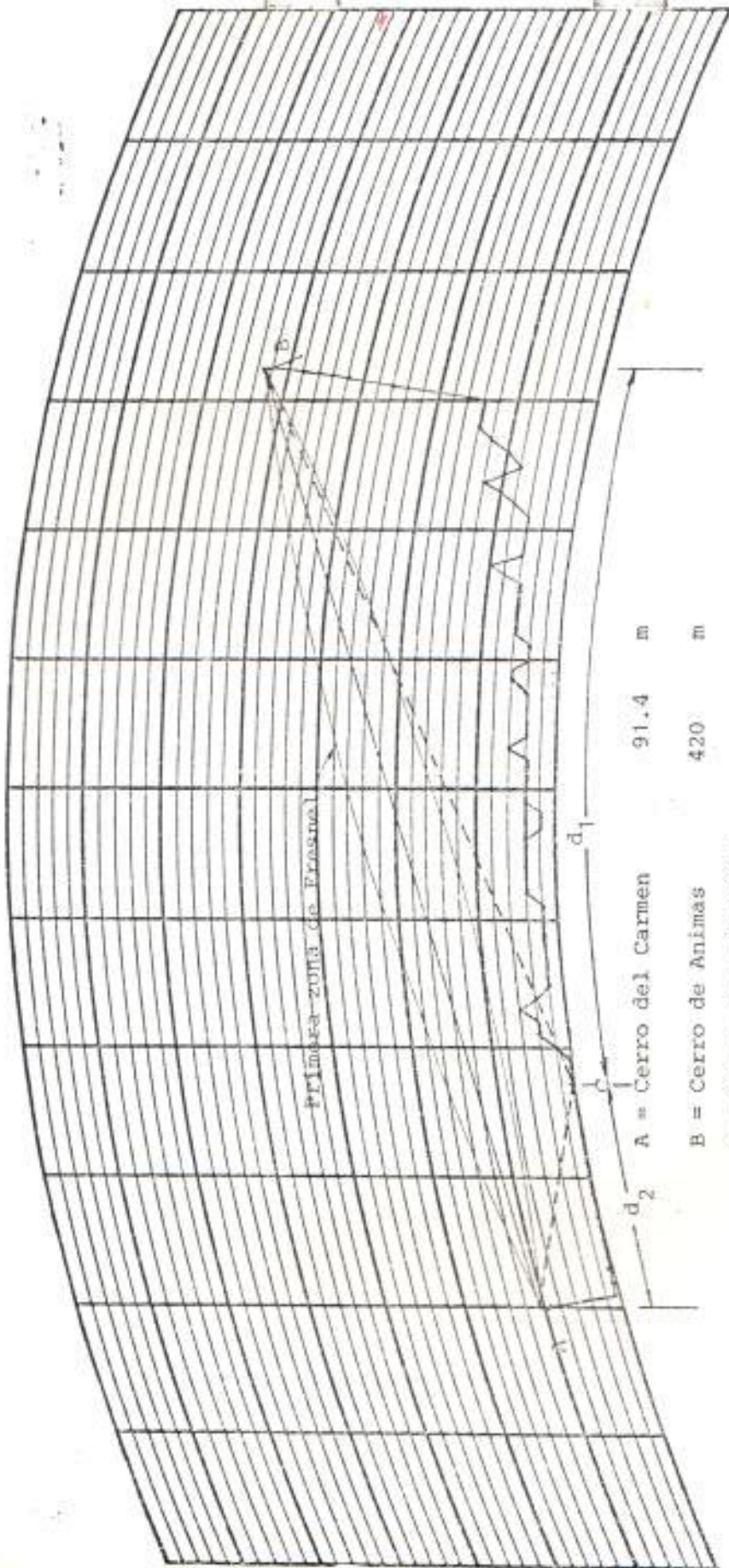


Fig. 2.5

Primera zona de Fresnel. Punto de reflexión

Aplicando las fórmulas (2.4 - 2.5) hallamos :

$$d_1 = 41.87 \quad \text{Km}$$

$$d_2 = 10.93 \quad \text{Km}$$

Observando el gráfico 2.6, se puede notar que la onda reflejada es obstruida por un obstáculo, impidiendo la reflexión de la onda en este tramo.

Al igual que en el caso anterior, según se observa el gráfico 2.6 la primera zona de Fresnel en este tramo se encuentra libre de toda obstrucción, y del mismo gráfico observamos que no existe onda reflejada, por lo tanto las alturas de las antenas son las adecuadas en ese tramo.

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

En un enlace de microondas la atenuación de la señal tiene fundamental importancia, y debe ser analizada en cada una de sus partes.

2.6.1 Diagrama general de la atenuación

La figura 2.7 enseña esquemáticamente la distribución de la atenuación en un sistema de microondas, en donde se representa :

Rx = receptor

Tx = transmisor

$A_1 - A_2$ = pérdidas en las alimentadoras, (incluye guías de onda, filtros, etc.).

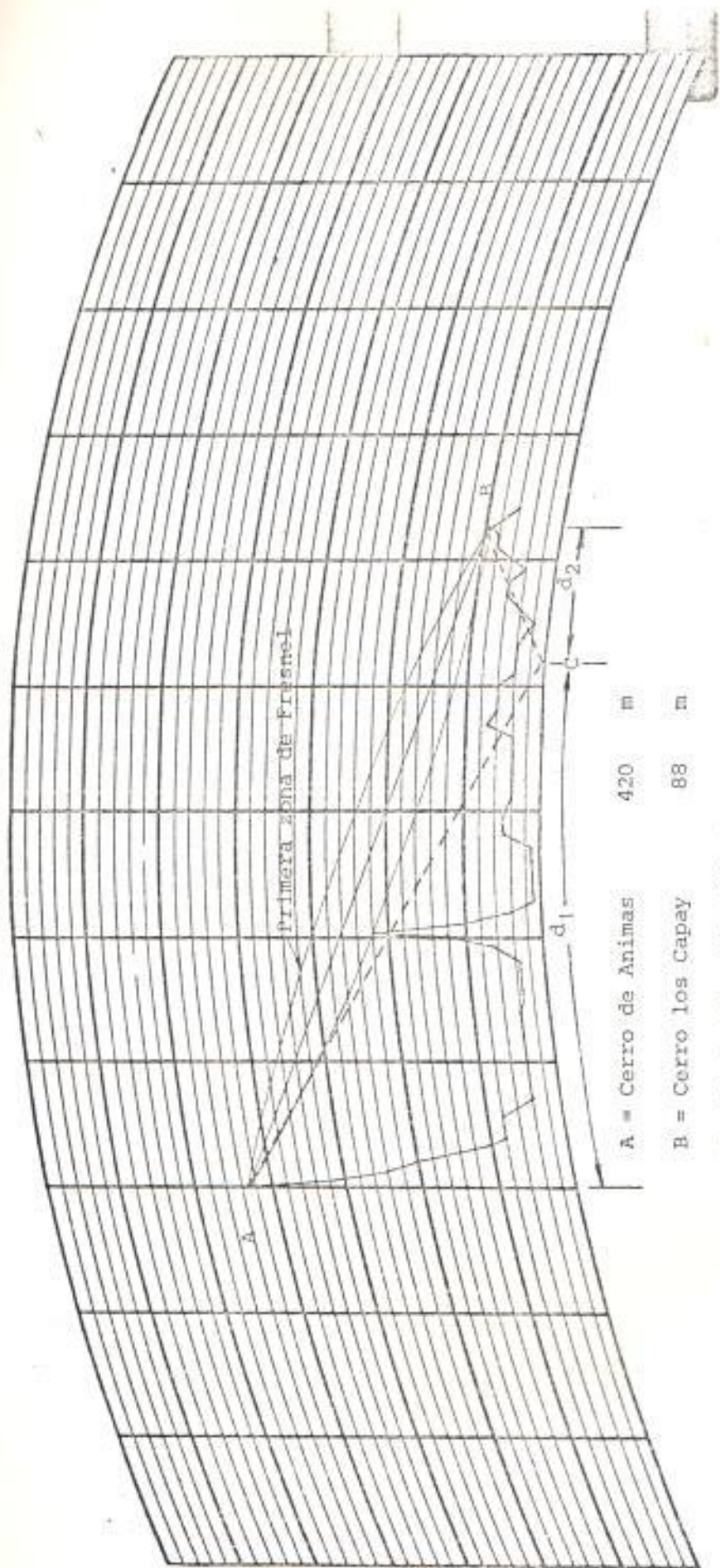


Fig. 2.6
Primera zona de Fresnel. Punto de reflexión

$G_t + G_r =$ ganancia de las antenas

$A_o =$ atenuación por espacio libre

$A_t =$ atenuación total en el tramo

En A_o (atenuación por espacio libre) están incluidas las pérdidas que pueden existir por obstrucción luego, la atenuación total en el tramo es :

$$A_t = A_o + A_1 + A_2 - (G_t + G_r) \quad (2.6)$$

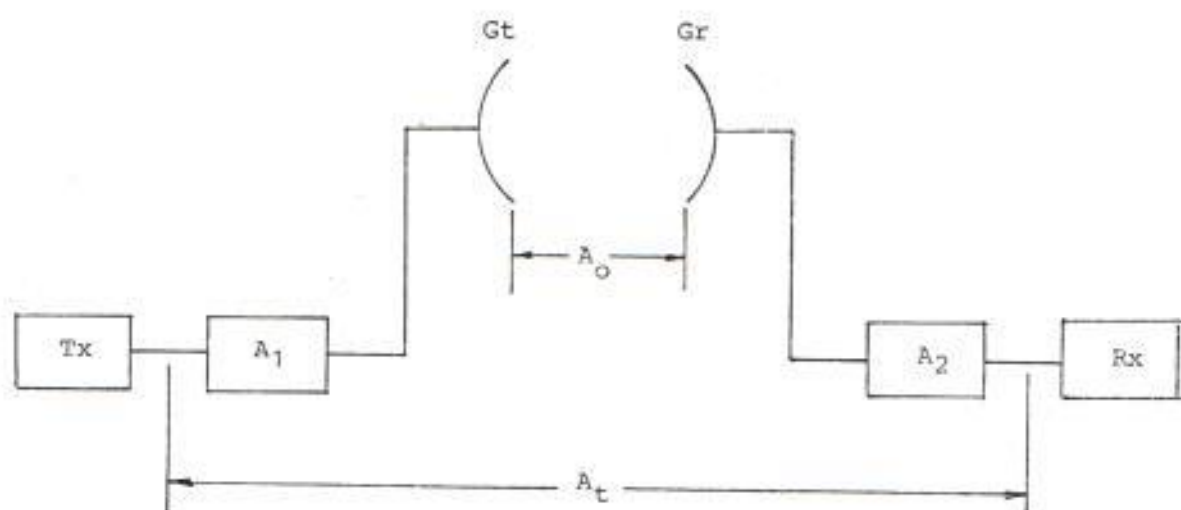


Fig. 2.7 Distribución de la atenuación

2.6.2 Atenuación por espacio libre del tramo Cerro del Carmen - Cerro de Animas

En las secciones 2.3 y 2.4 de este capítulo se ha demostrado - que en la ruta escogida no existe obstrucción a la línea de vista, ni a la primera zona de Fresnel en los dos tramos, por lo que la atenuación por espacio libre será una función de la distancia y la frecuencia de o peración.

Se define A_o como :

$$A_o = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2.7)$$

de donde,

$$A_o = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) / (\text{ganancia isotrópica})$$

considerando que :

$$\frac{1}{\lambda(m)} = \frac{f (\text{ Ghz })}{30} \quad (2.8)$$

- ganancia isotrópica, por definición es igual a uno.

reemplazando en la fórmula, tenemos :

$$A_o = 92.4 + 20 \log d (\text{ Km }) + 20 \text{ Log } f (\text{ Ghz }) \quad (2.9)$$

Para el tramo Cerro del Carmen - Cerro de Animas los valores de los parámetros son :

$$d = 72.35 \quad \text{Km}$$

$$f = 2.0 \quad \text{Ghz}$$

reemplazando en 2.9, tendremos :

$$A_o = 135.16 \quad \text{dB}$$

2.6.3 Atenuación por espacio libre en el tramo Cerro de Animas - Cerro Los Capay

Al igual que en el caso anterior, se demostró en la sección 2.4 que no existe obstrucción de la primera zona de Fresnel, ni de línea de vista entre los puntos, Cerro de Animas - Cerro Los Capay, y se puede aplicar también en este caso la fórmula 2.9, con los siguientes valores:

$$\begin{aligned} d &= 52.80 \quad \text{Km} \\ f &= 2.0 \quad \text{Ghz} \end{aligned}$$

reemplazando en la fórmula 2.9, tendremos :

$$A_o = 132.87 \quad \text{dB}$$

2.6.4 Pérdidas en las líneas de alimentación y filtros

De las especificaciones de equipo, respecto a pérdidas en circuladores y filtros, podemos considerar 3 dB como valor total en un tramo, esto es en transmisor y receptor.

La línea de transmisión para este caso será heliax tipo HJ5-5Q que según el nomograma proporcionado por el fabricante, para la frecuencia de 2 Ghz, la atenuación por metro es 0.06 dB, figura 2.8^(*).

(*) Condiciones estandar: VSWR 1.0, temperatura ambiente 24°C

Cable de dielectrico de aire tipo HJ5 - 50

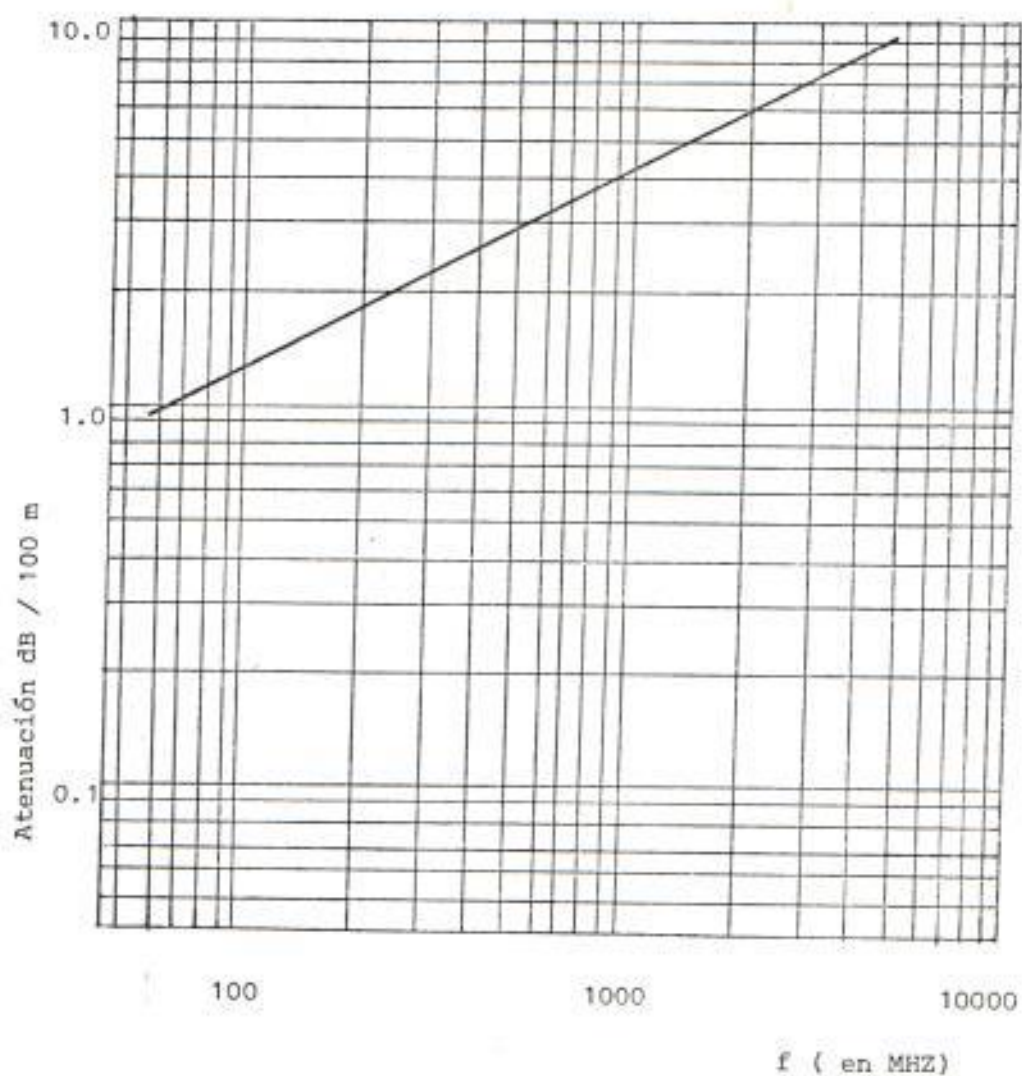


Fig. 2.8
Nomograma de atenuación del cable.

a) Pérdidas en la línea de alimentación y filtros en el tramo Cerro - del Carmen - Cerro de Animas

Los valores buscados son en este caso, refiriéndonos al gráfico 2.7, A_1 = pérdidas en la guía de onda, circuladores y filtros de el transmisor, y A_2 = pérdidas en la guía de onda, circuladores y filtros de el receptor. Es de anotar que, como el sistema es bidireccional, ni el transmisor ni el receptor pueden considerarse como tales sino que son las dos cosas a la vez.

La longitud de la guía de onda en el Cerro del Carmen se estima en 15 m y la del Cerro de Animas en 10 m, de donde según la figura 2.8

Atenuación en la guía de onda Cerro del Carmen = 0.90 dB

Atenuación en la guía de onda Cerro de Animas = 0.60 dB

y, finalmente :

Pérdidas en el tramo = 4.5 dB

b) Pérdidas en la línea de alimentación de filtros en el tramo Cerro de Animas - Cerro Los Capay

La longitud estimada para la guía de onda en Cerro de Animas - es de 10 m y la de Cerro Los Capay 10 m, procediendo como en el literal a :

Atenuación en la guía de onda Cerro de Animas = 0.60 dB

Atenuación en la guía de onda Cerro Los Capay = 0.60 dB

y, finalmente :

Pérdidas en el tramo = 4.2 dB

2.7 DETERMINACION DE LAS GANANCIAS REQUERIDAS DE LAS ANTENAS, Y CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCION

En este artículo se pretende relacionar los datos obtenidos en las secciones anteriores, para determinar las especificaciones límites de los equipos, para la condición de recepción de la señal con un margen de desvanecimiento de 99.99 % .

Una vez establecido el margen de desvanecimiento, para evaluar el funcionamiento de un enlace de microondas, sirven como base los siguientes principios (*).

- a) en general, cuando la relación señal-ruido en una imagen de televisión, es mayor a 24 dB, el ruido es visible.
- b) ya que en microondas el haz es curvado, y dispersado por las condiciones atmosféricas, no se requiere únicamente la claridad de la primera zona de Fresnel, sino un adecuado margen de desvanecimiento adicional. La imagen llega a ser inutilizable con una relación señal-ruido de 8 dB. Estos 8 dB establece una base para calcular el margen de desvanecimiento. Por ejemplo : si se tiene una señal con una relación señal-ruido 30 dB, el margen de desvanecimiento es de 22 dB (30 dB - 8 dB = 22 dB).

2.7.1 Ganancia de antena requerida para el tramo Cerro del Carmen - Cerro de Animas

(*) Television Broadcasting, Equipment, Systems, and Operating Fundamentals. Harold E. Ennes (1976)

En la sección 2.7 se estableció un margen de confiabilidad de 99.99 por ciento que debemos cumplir, refiriéndonos al gráfico del apéndice # 5 para un sistema de confiabilidad 99.99 por ciento, en un tramo de 72.35 Km (44.97 millas) se requiere un margen de desvanecimiento de 42 dB mínimo, entonces una relación señal ruido de 50 dB ($42 + 8 = 50$ dB), para esta relación señal ruido se requiere una potencia de entrada relativa de - 70.5 dB, según las especificaciones de los equipos proporcionados por el fabricante (*)

La potencia de la señal útil se define como :

$$PR (\text{dBm}) = PT (\text{dBm}) - At (\text{dB}) \quad (2.10)$$

en donde,

PT (dBm) = potencia de transmisión relativa
a 1 mW.

La ganancia de una antena se especifica como :

$$G (\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{D \pi}{\lambda} \right)^2 \quad (2.11)$$

Y = Rendimiento, especificado como la relación del área geométrica al área efectiva, para antenas parabólicas vale 0.5

D = Diámetro de la parábola en metros.

λ = Longitud de ondas en metros.

En la práctica nos referimos normalmente a las antenas de diámetros y dimensiones que pueden conseguirse en el mercado, y a las especificaciones de las casas comerciales que las producen.

(*) Estos valores fueron tomados de las mediciones proporcionadas por el fabricante, (Microwave Associates), y que se adjuntan en el apéndice # 5.

En nuestro caso se estudiará la posibilidad de usar antenas de 10 pies de diámetro (3.05 m).

Según las especificaciones del fabricante, la ganancia de la antena a la frecuencia de 2 Ghz es de 33 dB el cálculo, según la fórmula 2.11 para antenas con un diámetro de 3.05 m nos dá :

$$G (dB) = 33.10 \text{ dB}$$

Con los valores calculados podemos encontrar la potencia de la señal útil de recepción, PR.

Asumiendo la señal de salida de 2 W (33.01 dB), que $A_1 = A_2$ y que $GT = GR$, aplicando las fórmulas 2.9 y 2.6, tendremos :

$$A_0 = 135.61 \text{ dB}$$

$$A_1 + A_2 = 3.75 \text{ dB}$$

$$GT + GR = 66.2 \text{ dB}$$

de los valores calculados podemos deducir la atenuación total del tramo.

$$A_t = 73.16 \text{ dB}$$

aplicando la fórmula 2.10, tendremos :

$$PR (\text{dBm}) = - 40.15 \text{ dBm}$$

Valor que cumple con las especificaciones requeridas de - 70.5 dBm (sección 2.7).

Es de anotar que desde el punto de vista económico, si queremos un determinado incremento de potencia en la señal de recepción del

enlace, la ganancia de las antenas es la variable menos onerosa, comparado con un incremento igual en potencia del equipo.

2.7.2 Ganancia de antena requerida para el tramo Cerro de Animas - Cerro Los Capay

Si consideramos que en este tramo usamos también antenas de 3.05 m de diámetro, y que $A_1 = A_2$, también que $GT = GR$, aplicando las fórmulas 2.9 y 2.6, tendremos :

$$A_0 = 132.87 \text{ dB}$$

$$A_1 + A_2 = 4.2 \text{ dB}$$

$$GT + GR = 66.2 \text{ dB}$$

de los valores calculados podemos deducir la atenuación total en el tramo.

$$A_t = 70.87 \text{ dB}$$

aplicando la fórmula 2.9, tendremos

$$PR (\text{dBm}) = -37.86 \text{ dBm}$$

Valor que cumple con las especificaciones requeridas de :

- 70.5 dBm (sección 2.7).

CAPITULO # 3

ESTUDIO DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA SENAL DE TELEVISION

Para seleccionar un transmisor de televisión existen ciertas -
consideraciones básicas, :

- a) Determinación del área de cobertura
- b) Grado de la señal de recepción

Nuestro caso específicamente desea cubrir con una señal de tele-
visión el color clase A, las poblaciones de La Libertad, Salinas, Santa
Elena y Ballenita, o sea el núcleo turístico en la Península de Santa E
lena.

En transmisión de televisión se considera, en el estudio de pro-
pagación, dos intensidades de campo.

1.- Servicio de grado A.

Se denomina señal de grado A a una señal que debería dar u-
na relación señal ruido (S/R) satisfactoria en el prome-
dio de los receptores.

2.- Servicio de grado B.

Se denomina señal de grado B a una señal que debería dar un
ruido intermitente en el promedio de los receptores.

Para uso de la tabla 3.1 se define :

$$1 \text{ dB}\mu = 20 \log E \quad (3.1)$$

E = intensidad de campo en $\mu\text{B/m}$

Los grados de señal de televisión están tabulados en la tabla -

3.1. y 3.2 que son regulados por la FCC de los Estados Unidos, los cuales serán usados en esta tesis por ser valores standard.

TABLA 3.1

GRADOS DE LA SEÑAL DE TELEVISION (FCC)

CANAL	FRECUENCIA MHZ	GRADO A dBμ	GRADO B dBμ	COMUNIDAD dBμ
2-6 VHF	54-88	68	47	74
7-13 VHF	174-216	71	56	77
14-69 UHF	470-806	74	64	80

Como se ve, la magnitud de la señal en dBμ varía con la frecuencia del canal. En la tabla 3.1 se puede observar también la magnitud de la intensidad de campo para la comunidad local, cuando el transmisor se halla en la ciudad.

En nuestras condiciones, las variaciones de altura del terreno en una trayectoria particular, las diferencias entre las ganancias de las antenas de los receptores, hacen difícil establecer cuando una señal es satisfactoria o no satisfactoria. En muchos casos con una misma antena, un televisor moderno puede darnos, una calidad de imagen sensiblemente mayor que otros, de allí la necesidad de referirnos a los valores tabulados como límite en los grados de la señal, valores que son muy conservadores por cuanto no consideran antenas de alta ganancia, ni re-

ceptores modernos de gran sensibilidad, (ver tabla 3.2)

TABLA 3.2

LIMITES EN LOS GRADOS DE LA SEÑAL

CANAL	INTENSIDAD DE CAMPO ESTIMADA		
	Probablemente no satisfactoria	Cuestionable	Probablemente satisfactoria
2-6	Menos que 40 dBμ	40-47 dBμ	Sobre los 47 dBμ
7-13	Menos que 50 dBμ	50-56 dBμ	Sobre los 56 dBμ
14-69	Menos que 60 dBμ	60-65 dBμ	Sobre los 65 dBμ

En el gráfico 3.1 se pueden observar los requerimientos de cobertura de la señal de televisión. Teniendo como referencia Cerro Los Cayay como el punto de transmisión; podemos calcular el valor de la potencia del transmisor requerida para cubrir los puntos principales.

3.1

SELECCION DEL TRANSMISOR

Con las consideraciones hechas en la introducción de este capítulo y las tablas que especifican los valores del nivel de la señal en el punto de recepción, podemos partir para hallar los valores de especificaciones críticas del transmisor.

En la práctica se deberá considerar los efectos de la altura -

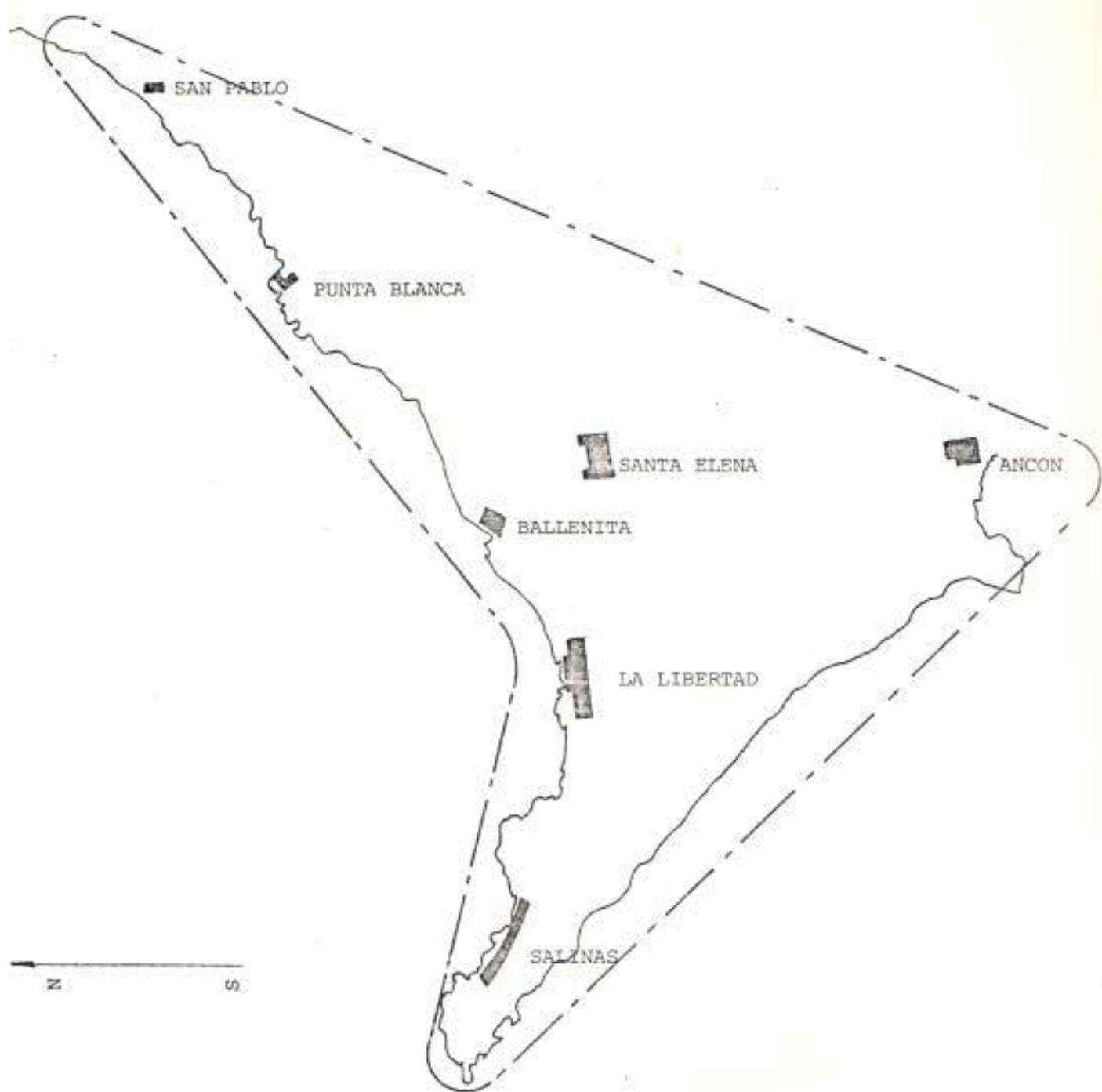


Fig. 3.1
Requerimientos de cobertura

del terreno, que viene a ser una función de la longitud de onda de la señal de televisión, en nuestro caso. La fórmula 3.2 relaciona matemáticamente los parámetros, tales como altura, distancias hasta el punto de recepción, potencia del transmisor, etc.

$$E = \frac{89.17 \times a \times h \times \sqrt{P}}{d^2 \times \lambda} \quad (\mu V / m) \quad (3.2)$$

en donde, :

- E = intensidad de campo en micro voltios por metros
- a = altura de la antena transmisora sobre el nivel del mar en metros
- h = altura de la antena receptora sobre el nivel del mar en metros
- P = potencia efectiva irradiada en vatios
- d = distancia entre transmisor y receptor en kilómetros
- λ = longitud de onda de la señal transmitida en metros

Tomando Salinas como nuestro punto de referencia, tendremos :

- a = 128 m (40 m de torre)
- h = 10 m
- d = 12.5 Km (distancia desde Cerro Los Capay hasta Salinas, Punta Chipipe)
- λ = 5.43 m (longitud de onda correspondiente a la portadora de video, 55.25 MHz)

La intensidad de campo de recepción se calcula por la fórmula

3.3

$$E (dBu) = 20 \log E (\mu V/m) \quad (3.3)$$

de donde la fórmula final que será usada en este trabajo, es :

$$E = 20 \log \left(\frac{89.19 \times a \times h \sqrt{P}}{d^2 \times \lambda} \right) \quad (\text{dB}\mu) \quad (3.4)$$

Usando la fórmula 3.4 se puede tabular y graficar los valores de intensidad de campo en dB μ en función de la potencia efectiva irradiada por el transmisor.

TABLA 3.3

RELACION DE POTENCIA IRRADIADA A INTENSIDAD DE CAMPO RECIBIDA

Potencia efectiva irradiada en vatios	Intensidad de la señal en dB μ
100	62.09
200	65.10
300	66.86
400	68.11
600	70.01
800	71.12
1000	72.09
1500	73.85
2000	75.10

De la figura 3.2 podemos obtener dos datos importantes. El punto A (350 vatios PEI (*)) nos determina un transmisor que cumple con (*) PEI = Potencia Efectiva Irradiada.

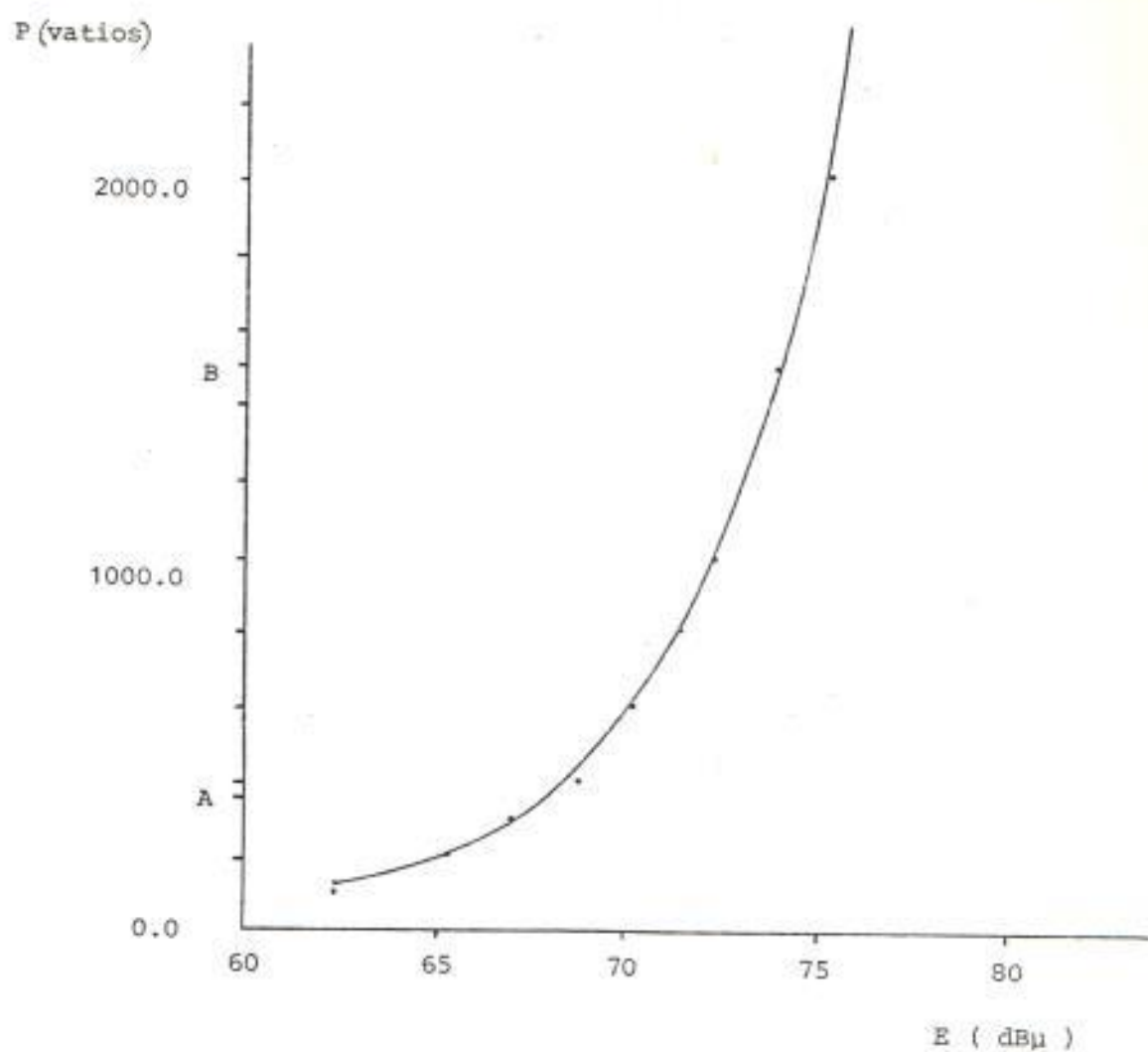


Fig. 3.2

Relación de potencia irradiada a intensidad de campo recibida

los requerimientos mostrados en la tabla 3.1, para recepción de la señal de televisión grado A, la tabla indica que la señal grado A es aquella que da una intensidad de campo en el receptor mayor a 68 dBu, en los puntos de cobertura.

El punto B (1500 vatios PEI) nos determina el valor de la potencia efectiva irradiada, necesaria para obtener una señal con características de local, según se determina en la tabla 3.1, la cual indica que se considera como señal local para las frecuencias de los canales bajos, del 2 - 6, una señal con nivel mayor a 74 dBu.

Un transmisor de 2000 vatios dará al sistema mayor confiabilidad por sobredimensionamiento.

Un análisis del gráfico 3.2 nos indica que para valores mayores a 74 dBu, un incremento de señal pequeño en el receptor representa un gran incremento de potencia del transmisor.

3.2 ACOPLAMIENTO DE ANTENA

Cuando usamos modulación de alto nivel en un transmisor de televisión, se hace necesario atenuar la banda lateral baja, y esto se consigue por medio del filtro de banda vestigial, que se coloca entre el transmisor propiamente dicho y la antena.^(*)

Los standares de la FCC establecen que la banda lateral no puede ser mayor que menos 20 dB para una modulación 1.25 MHZ o más. Para cumplir con este requerimiento se usa el filtro de banda vesti -

(*) Ver apéndice # 7

gial, cuyo circuito equivalente se lo muestra en la figura 3.3. El filtro está dividido básicamente en tres partes que son : filtro paso bajo, filtro paso alto y filtro supresor de banda.

En el gráfico 3.3 se ilustra el DIPLEXER (*), que se usa debido a que en realidad tenemos dos transmisores, el primero de video y el segundo de audio, y este dispositivo sirve para unir las dos salidas que alimentan a una misma antena común.

El gráfico 3.4 enseña el circuito equivalente del Diplexer. Los elementos resistivos R_1 y R_2 representan los radiadores de la antena. Las impedancias, Z_1 y Z_2 se ajustan para balancear el circuito puente. Así cada tranmisor alimenta dos puntos de igual potencial y la interacción es despreciable cuando el circuito está perfectamente balanceado.

Las antenas que se usaron en nuestro sistema tienen las siguientes características, que son proporcionadas por el fabricante :

Frecuencia de operación	55.25 MHZ
Ganancia	1.8 dB
Azimet de máxima irradiación respecto al norte	90° y 312°
Angulo de abertura del lóbulo de irradiación	76° (a - e dB) 102° (a - 6 dB)

El gráfico 3.5 muestra el diagrama de irradiación horizontal de potencia proporcionado por el fabricante.

(*) Diplexer : no tiene traducción al español, y por tanto este término inglés se usará igual como está.

FILTRO DE BANDA VESTIGIAL

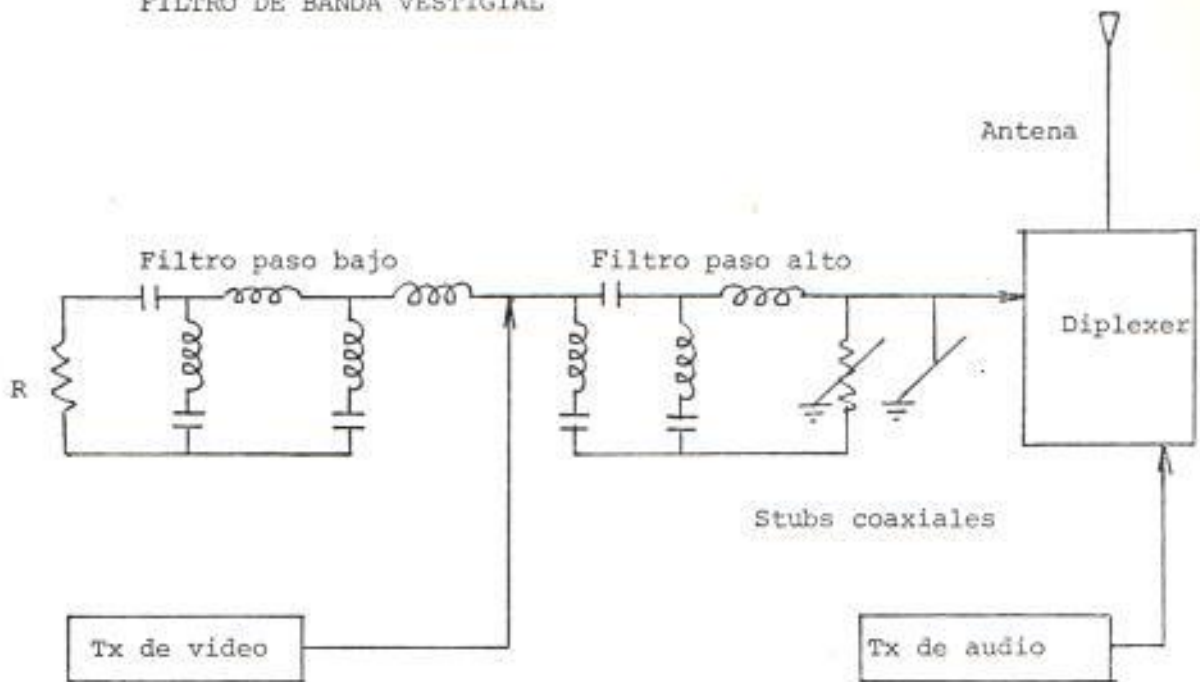


Fig. 3.3

PRINCIPIO DEL DIPLEXER

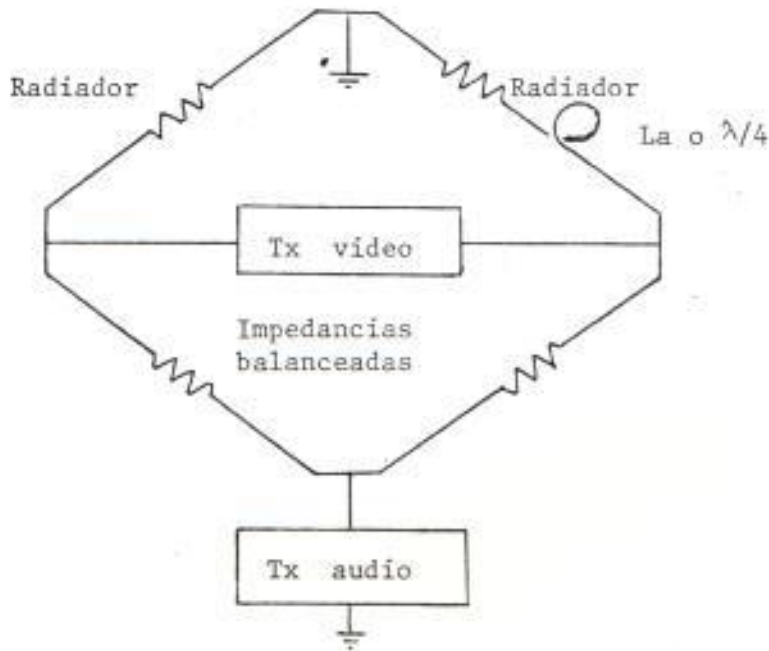


Fig. 3.4

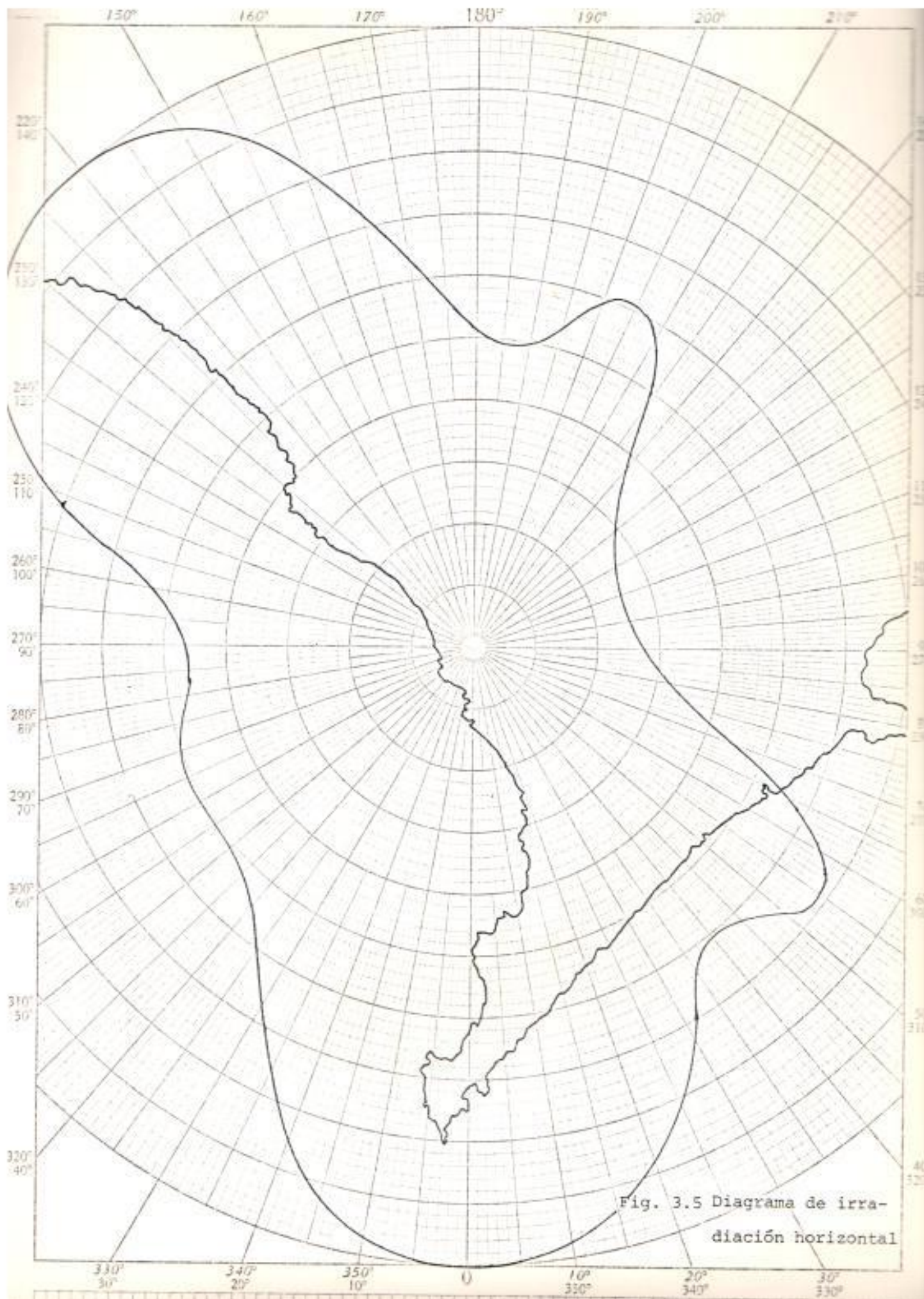


Fig. 3.5 Diagrama de irradiación horizontal

3.3

CALCULO DE ALTURA EFECTIVA DE ANTENA

La topografía del terreno que circunda la antena transmisora, influye en el nivel de la señal transmitida por efectos de reflexión y obstrucción de las ondas electromagnéticas. De allí la necesidad de hacer un estudio del área de cobertura para determinar el grado de influencia sobre la señal de televisión.

La altura efectiva de antena de VHF, se define como : " la altura desde el punto medio geométrico de la antena al término medio del nivel de la superficie del terreno, tomado de 3 kilómetros a 15 kilómetros a partir de la base de la antena ".

Desde el punto de vista práctico se debería tratar de conseguir la mayor altura posible para la alimentación de la antena de un transmisor de televisión, en nuestro caso se escogerá 40 m sobre el nivel del suelo como punto de alimentación de antena.

De esta forma tendremos (88 m + 40 m = 128 m) 128 m como altura del punto medio geométrico de la antena.

A continuación se tabulan los valores de altura del terreno en intervalo de 2 kilómetros para cada uno de los 8 radiales, el valor tabular es el más representativo en el intervalo.

3.3.1 Tabulación de alturas desde la base de la antena

Para encontrar los valores de las alturas se usaron cartas topográficas de las zonas a escala 1:50000 proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar, tomando el Cerro Los Capay como punto en el que

deberá estar colocado el transmisor de televisión, se trazaron en las .
cartas topográficas 8 radiales, con 45° de diferencia entre ellas, y se
marcaron desde la base de la antena desde el kilómetro 3, puntos con in
tervalos de 2 kilómetros, hasta los 15 kilómetros. La altura que se en
cuentra anotada en la tabla 3.4 para el intervalo correspondiente, se -
tomó del valor más representativo en el intervalo.

En nuestro caso no se ha tabulado los valores de las alturas en
los radiales a 0° y 45° por existir mar abierto en los dos casos.

A continuación se encuentra los gráficos de altura del terreno
sobre el nivel del mar en cada uno de los radiales tabulados en la tabla
3.4 (gráficos 3.6 al 3.11)

El gráfico 3.12 enseña en coordenadas polares la curva resultan
te de altura efectiva de antena en cada uno de los 8 radiales y el va -
lor de la altura efectiva promedio resultante.

TABLA 3.4

ALTURA MAXIMA EN EL INTERVALO EN METROS						
RADIAL	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Distancia desde la base de la - antena en Km						
3	0	30	30	40	20	20
5	0	30	30	30	10	10
7	0	20	20	60	40	20
9	0	20	30	60	60	10
11	10	0	30	50	60	10
13	10	0	40	50	40	10
15	0	0	0	40	40	10
Altura promedio	2.86	14.29	27.61	47.14	38.57	12.86
Altura efectiva	125.14	113.71	100.29	80.86	89.43	115.14
Altura efectiva promedio = 110.57 m						

3.4 CALCULO DE POTENCIA EFECTIVA IRRADIADA

La potencia efectiva irradiada se define como el verdadero nivel de señal que irradia la estación, y depende de la potencia de salida

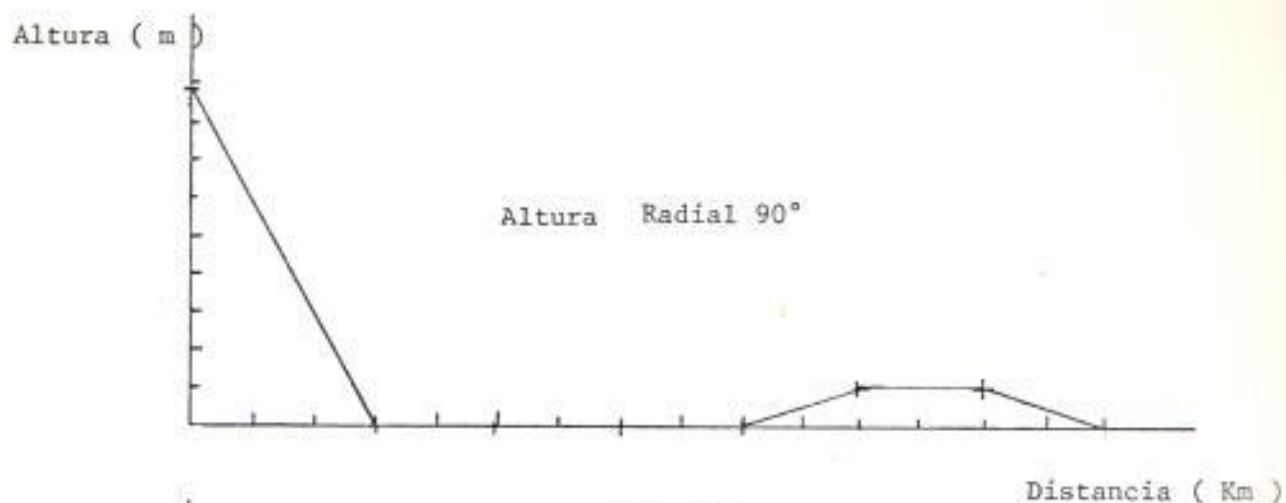


Fig. 3.6

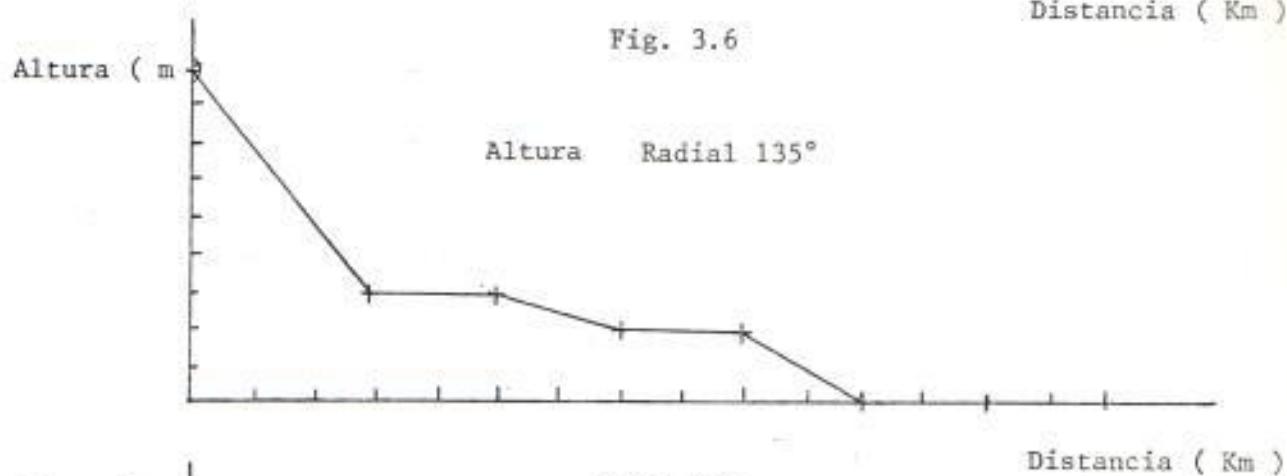


Fig. 3.7

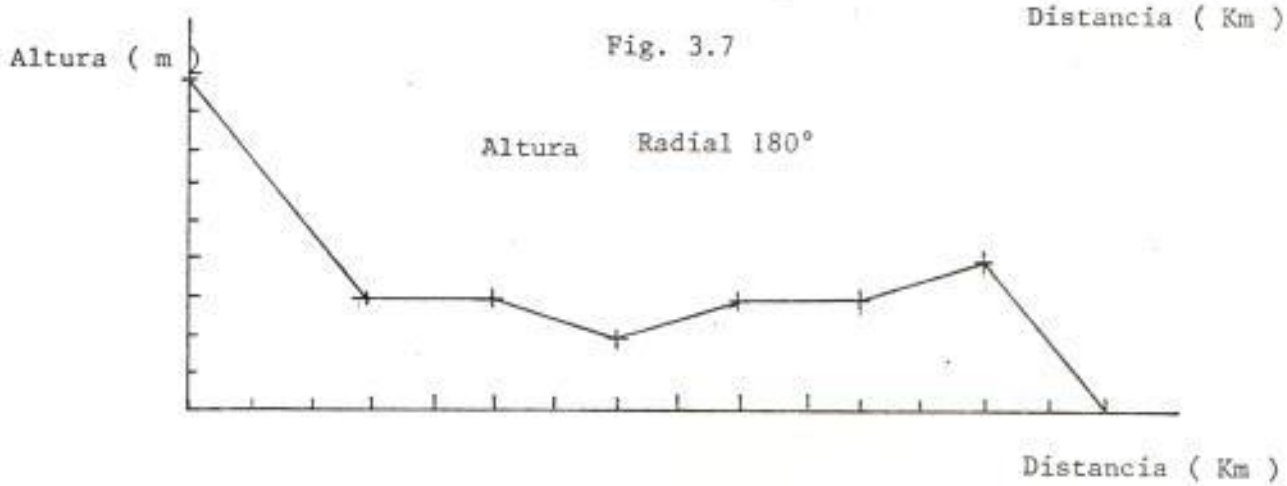


Fig. 3.8

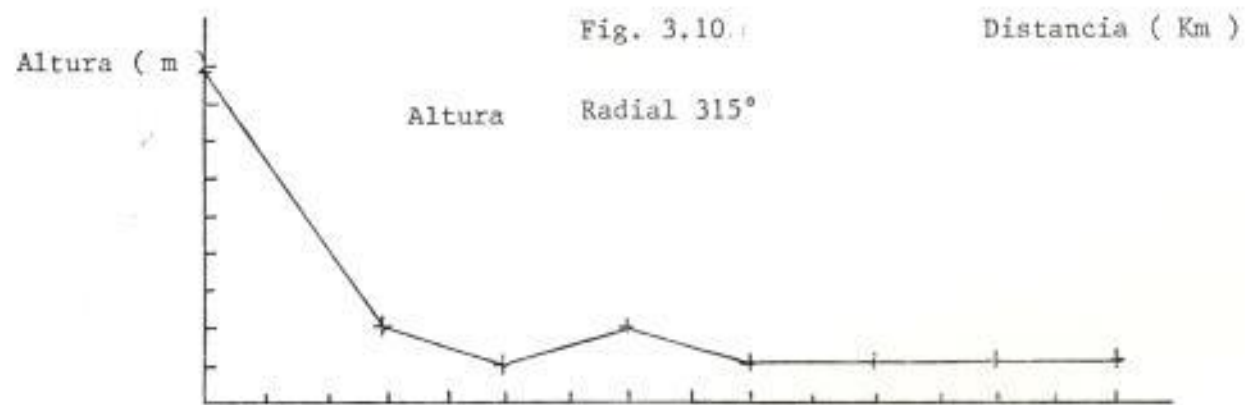
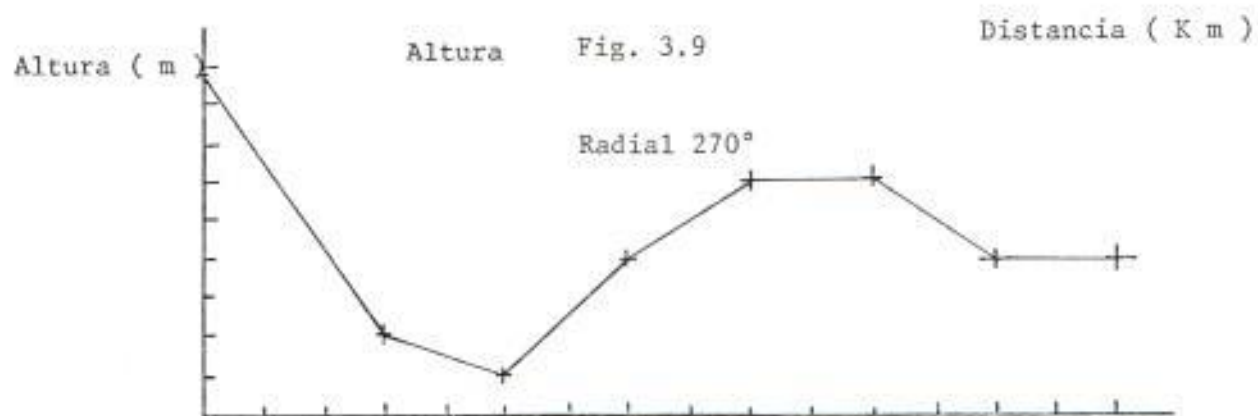
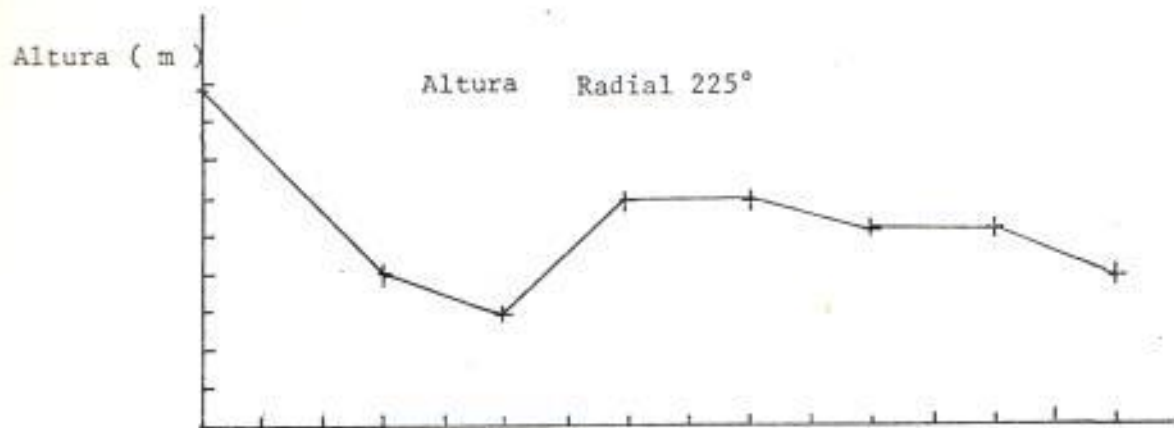


Fig. 3.11. Distancia (Km)

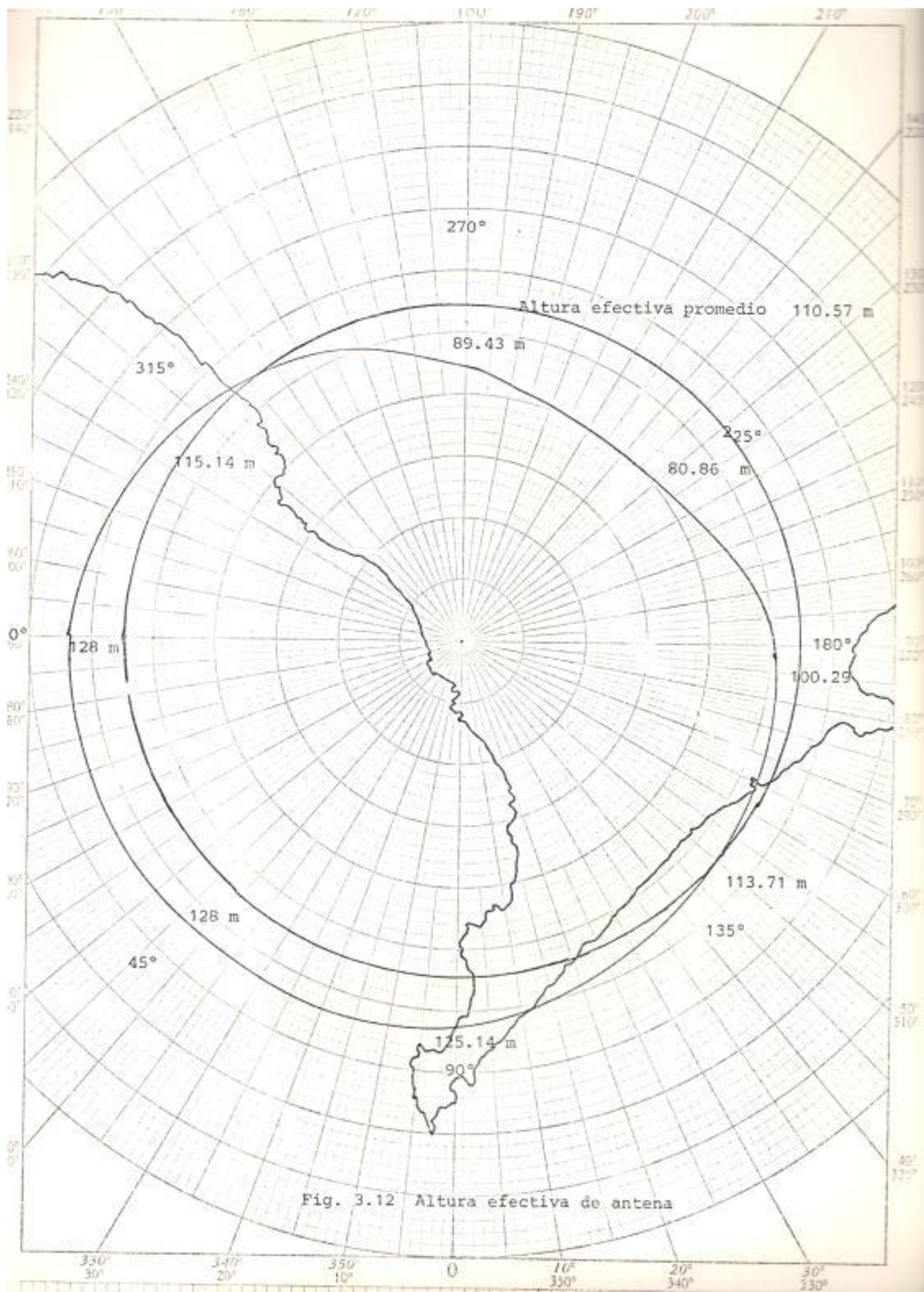


Fig. 3.12 Altura efectiva de antena

da del transmisor, pérdida en la línea de transmisión, y ganancia de-
 antena. La potencia efectiva irradiada se da como función de la porta-
 dora de video. La portadora de audio se da en términos del valor RMS y
 está limitada por las regulaciones de la FCC, de 10 a 20 por ciento de
 la potencia de video. En transmisión de televisión a color, una poten-
 cia mayor al 20 por ciento de audio respecto a la portadora de video, -
 produce un batido de la portadora de audio, (4.5 MHz), con la sub--
 portadora de color (3.579545 MHz), con una resultante de 920 KHZ,-
 que se manifiesta como ruido sobre la pantalla de televisión en mayor -
 o menor grado, dependiendo del tipo de televisor.

La figura 3.13 enseña un nomograma del porcentaje de eficiencia
 respecto a la pérdida en la línea.

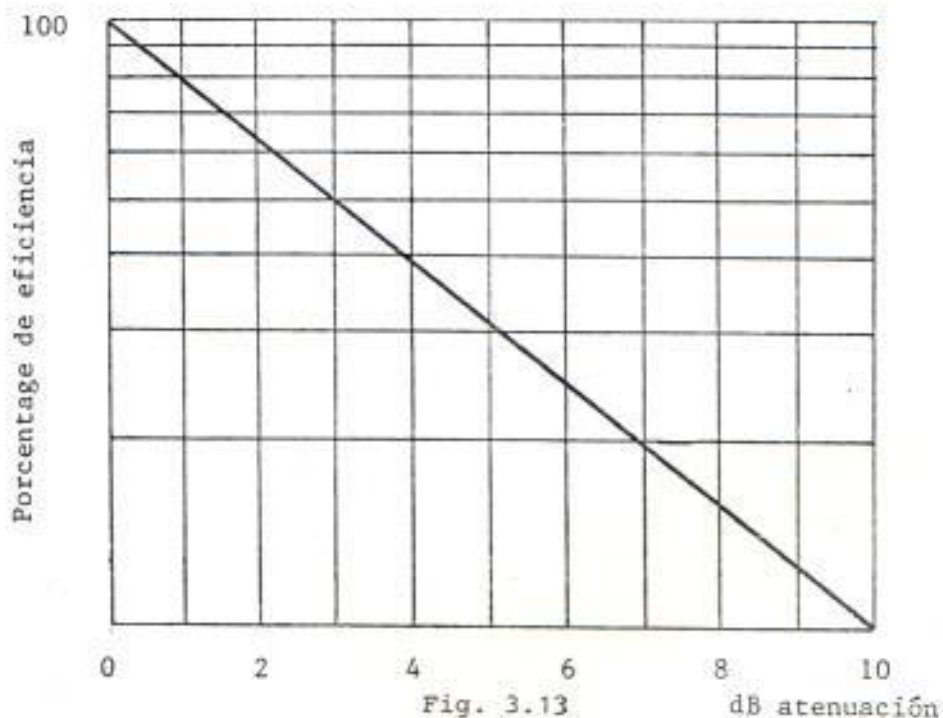


Fig. 3.13
 Percentage de eficiencia.

Los datos de los que partimos para calcular la potencia efectiva irradiada son :

Potencia de salida	2000	vatios
Altura de la torre	40	m
Longitud de la línea de transmisión	52	m
Tipo de línea de transmisión		
Ganancia de antena	1.8	dB
Frecuencia de operación	55.25	MHZ
Eficiencia de 52 m de línea de transmisión	99	% (*)

Con estos valores procedemos de la siguiente manera :

Potencia en la antena = $2000 \times 0.99 = 1980$ vatios. Efecto de la ganancia de antena; $1980 \times 1.8 = 3564$ vatios (PEI) ??

3.5 DETERMINACION DE LOS LOBULOS DE IRRADIACION

Una vez calculados los parámetros que inciden sobre la intensidad de campo que irradia la estación, se puede concluir en una graficación de curvas de nivel de intensidad de campo que nos indicarán los valores esperados en cada uno de los puntos a los cuales se debe llegar con la señal de televisión, que es el objetivo final de este trabajo.

La fórmula fundamental para el cálculo de la intensidad de campo estimada es :

(*) La atenuación de la línea de transmisión es 0.0027 dB/m; por lo que la atenuación en toda la línea será 0.14 dB, y con este valor nos referimos al gráfico 3.12 para hallar la eficiencia.

$$E = 20 \log \left(\frac{89.17 a \times h \times \sqrt{K \times P}}{d^2 \lambda} \right) \text{ dB}\mu \quad 3.5$$

en donde,

E = intensidad de campo en dB μ

a = altura de la antena transmisora en metros

h = altura de la antena receptora en metros

P = potencia efectiva irradiada en vatios

K = porcentaje de potencia irradiada en el radial considerado.

d = distancia en kilómetros desde la antena transmisora hasta la antena receptora.

λ = longitud de onda de la señal transmitida en metros

El procedimiento matemático para encontrar la intensidad de campo estimada es el siguiente :

- a) se escoge un radial determinado y en él se observa la altura efectiva de antena usando el gráfico 3.12
- b) Se observa la constante K (porcentaje de potencia irradiada en el radial considerado) en el gráfico 3.5
- c) Se tomó 10 m como el valor de altura de antena del receptor por considerarse un valor promedio real .
- d) El parámetro que varía para cada punto de señal esperada, es el valor E en dB μ
- e) Las curvas de nivel de intensidad de campo irradiado, son trazados de la siguiente forma : Aplicamos la fórmula 3.6 para un valor de E constante. Se calcula el valor de d en los 8 radiales, y por estos puntos se traza la línea de nivel de campo (ver apéndice # 8).

Despejando d (distancia desde la antena transmisora hasta la antena receptora), de la fórmula 3.5, tenemos :

$$d = \sqrt{\frac{89.17 a \times h \sqrt{K \times P}}{\lambda \log^{-1} \left(\frac{E}{20} \right)}} \quad 3.6$$

Los valores que serán reemplazados en la fórmula 3.6 para obtener las distancias desde la base de la antena, son los siguientes :

$h = 110.57$ m (altura efectiva de la antena transmisora)
 $a = 10$ m (altura de la antena receptora)
 $\lambda = 5.43$ m (longitud de onda de la señal)
 $P = 3564$ W (PEI)

reemplazando valores :

$$d = 96.29 \sqrt{\frac{h \sqrt{K}}{\log^{-1} \left(\frac{E}{20} \right)}} \quad 3.7$$

El gráfico 3.14 nos indica las curvas de nivel de la señal esperada. Las curvas se han trazado a intervalos de 5 dBu, comenzando en 100 dBu hasta 45 dBu, ya que según la tabla 3.1, la señal de 40 dBu, o menos, es una señal de grado B.

La tabla 3.5 nos enseña los valores desde la base de la antena en kilómetros, que nos servirá para trazar las curvas de nivel de intensidad de campo.

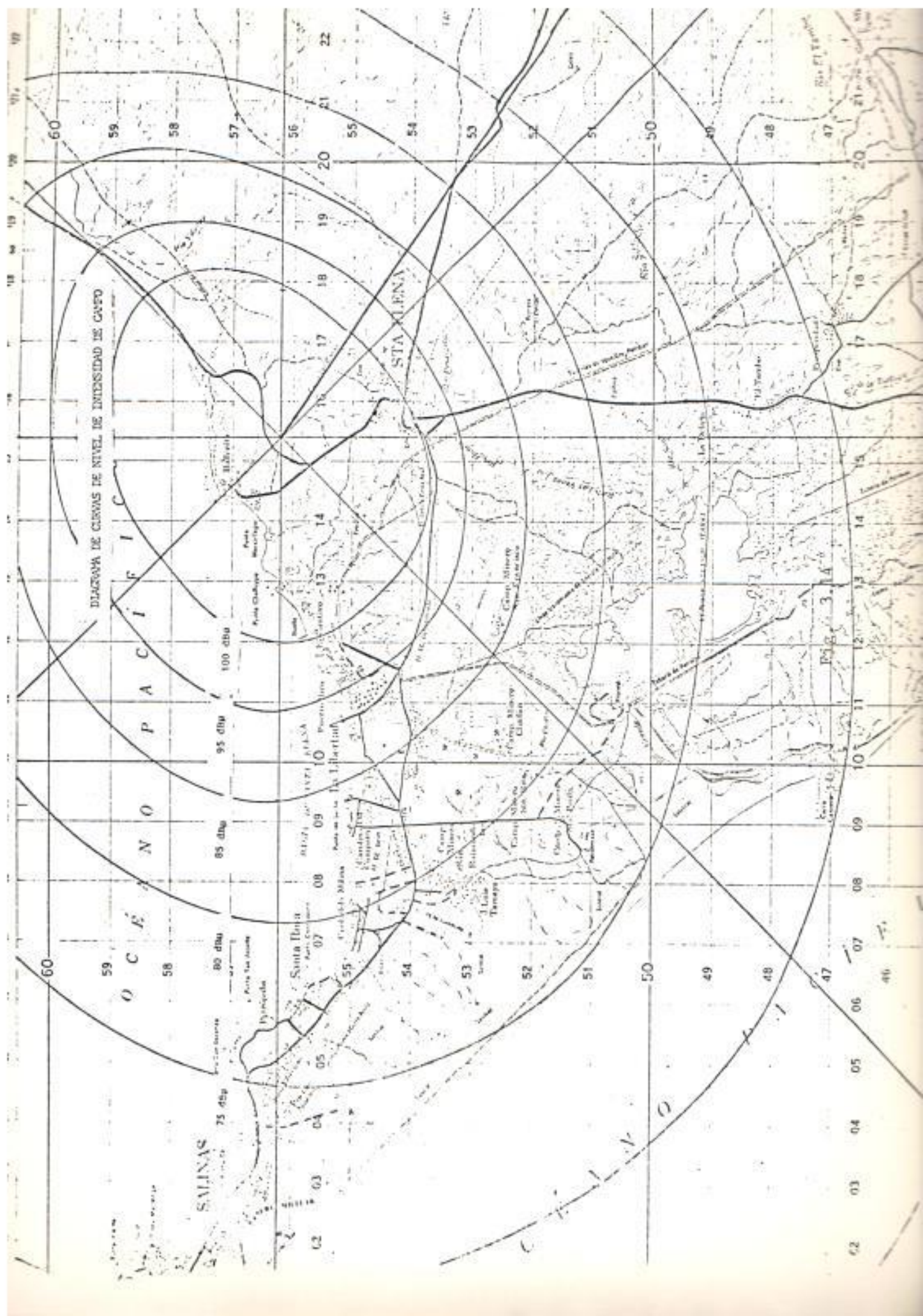


DIAGRAMA DE CURVAS DE NIVEL DE INTENSIDAD DE CASPO

O C E A N O P A C I F I C O

STA. HELENA

SALINAS

Pág. 3.14

Escala 1:50,000

TABLA 3.5

Rd = Radial considerado

PR = % de potencia irradiada en el radial considerado

AF = Altura efectiva en el radial en metros

IC = Intensidad de campo en dBμ, para cada curva de nivel de intensidad de campo

DK = Distancia en Km desde la base de la antena para el radial, y el IC considerado

RD	PR	AF	IC												
			100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	
0°	0.45	128	2.82	3.76	5.02	6.69	8.92	11.90	15.87	21.16	28.22	37.63	50.18	66.91	
45°	0.51	128	2.91	3.88	5.18	6.90	9.21	12.28	16.37	21.83	29.11	38.82	51.77	69.04	
90°	1.00	125.14	3.41	4.54	6.06	8.08	10.77	14.36	19.15	25.54	34.06	45.42	60.57	80.78	
135°	0.61	113.71	2.97	3.83	5.10	6.80	9.07	12.10	16.14	21.52	28.70	38.27	51.03	68.05	
180°	0.28	100.29	2.22	2.96	3.94	5.26	7.01	9.35	12.47	16.63	22.18	29.58	39.45	52.60	
225°	0.34	80.86	2.09	2.79	3.72	4.96	6.61	8.82	11.76	15.68	20.91	27.88	37.18	49.58	
270°	0.51	89.43	2.43	3.25	4.33	5.77	7.70	10.26	13.68	18.25	24.33	32.45	43.27	57.71	
315°	1.00	115.14	3.27	4.36	5.81	7.75	10.33	13.78	18.37	24.50	32.67	43.57	58.10	77.48	

Distancia desde la base de la antena en Km, para trazar las curvas de nivel de intensidad de campo.

CAPITULO # 4
=====

CONCLUSIONES

Una vez que se han determinado las especificaciones técnicas para lograr nuestro objetivo, el de mantener una señal de grado A en la Península de Santa Elena, la selección de los equipos toma un parámetro de importancia adicional que es el económico.

4.1 SELECCION DE LOS EQUIPOS

Al escoger un equipo para transmisión de televisión en color, se deberán tomar en cuenta entre las características de los equipos, los siguientes puntos:

- 1.- Respuesta de frecuencia
- 2.- Relación señal ruido
- 3.- Ganancia diferencial de fase
- 4.- Ganancia diferencial
- 5.- Respuesta de equipos a las señales patrón
- 6.- Potencia de salida de transmisor
- 7.- Ganancia de las antenas

4.1.1 Selección de los equipos para el enlace de microondas

En el capítulo # 2 se han determinado los parámetros del equipo de microondas que harán posible llegar a la Península de Santa Elena con una señal de televisión clase A.

Los parámetros son los siguiente:

- 1.- Relación señal ruido del receptor de microonda 50 dB
(sección 2.7.1)

- 2.- Potencia de entrada relativa - 70.5 dB (sección 2.7.1)
- 3.- Potencia de salida para el transmisor de microondas para cada tramo, 2 W (sección 2.7.1)
- 4.- Ganancia de antenas 33.10 dB
- 5.- Diámetro de las antenas 10 pies
- 6.- Frecuencia de operación 2.0 GHZ (ver apéndice # 6)
- 7.- Ancho de banda mayor a 6 MHZ.

Desde el punto de vista técnico, cualquier equipo que cumpla con los requerimientos expuestos, conformará un sistema de enlace de microondas que nos dará una señal de televisión clase A al final del enlace.

Existen algunas marcas de prestigio que trabajan en el ramo de las microondas, en nuestro caso específico existía un convenio con la firma Microwave Associates que proporcionaba facilidades para la financiación y adquisición de los equipos. Las características de los equipos se adjuntan a esta Tesis como apéndice # 5 y como se observa en este apéndice, los equipos cumplen con las características requeridas.

4.1.2 Selección de los equipos para la señal de televisión, VHF

En el capítulo # 3 se hizo los cálculos para determinar los parámetros necesarios del transmisor de VHF que deberá ser instalado en la Península de Santa Elena.

Con este equipo se quiere cubrir la Península de Santa Elena (ver figura 3.1) con una señal de televisión en color clase A (ver tabla # 3.1).

Los parámetros determinados son los siguientes:

- 1.- Potencia de salida del transmisor 2000 W (sección 3.1)
- 2.- Altura de alimentación de antena 128 m (sección 3.3)
- 3.- Ganancia de antena 1.8 dB (sección 3.4)
- 4.- Frecuencia de operación 55.25 MHz (sección 3.4)

En el mercado existen básicamente dos tipos de transmisores: transmisores de modulación en alto nivel que es el sistema usual de los equipos americanos, y transmisores de modulación en bajo nivel que es el sistema usual en Europa.

Nuevamente el parámetro económico es determinante en la práctica al momento de elegir un transmisor. En nuestro caso se instaló un transmisor de 2000 W, de modulación en alto nivel y una antena cuyas características están dadas en la sección 3.2.

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

En esta sección se quiere explicar los datos obtenidos experimentalmente y que nos servirán de guía para hacer una evaluación del estado del sistema en general. Esta sección está organizada en dos partes principales: La primera tiene que ver con el sistema de microondas y se refiere a las observaciones de las señales de prueba, toma

das tanto a la entrada como a la salida del sistema. La segunda se refiere a las mediciones de la intensidad de campo de la señal de televisión en el área que se pretende cubrir, y nos dará una idea de los resultados obtenidos con el sistema instalado.

4.2.1 Mediciones en el sistema de microondas

Ya que el equipo para hacer mediciones a nivel de microondas es demasiado caro, solamente se hicieron mediciones en banda base o sea en señal de video.

Con este fin se tomaron varias fotografías de diferentes señales patrón en la entrada de video del enlace y luego se trasladaron los equipos necesarios y se tomaron igualmente fotografías de las señales patrón a la salida del sistema, de esta forma se podrá hacer una evaluación cualitativa del sistema, observando las fotografías obtenidas. Una explicación de cada una de las formas de onda se hallan en el apéndice # 8.

4.2.1.1 Señales de prueba a la entrada del sistema de microondas

a) Señal de barras de color.- La fotografía de la figura 4.1 muestra la señal de barras de color (ver apéndice # 8).

Esta fotografía fue tomada a la entrada del sistema del enlace de microondas. En ella se puede apreciar en el pórtico posterior del sincronismo horizontal, el muestreo de la señal de la subportadora de color de 3.58 MHz, se pueden observar las señales I (en fase)

Y Q (en cuadratura) de la señal de color. Se enseña el punto de - sincronismo horizontal, los colores primarios y complementarios con sus valores relativos.

b) Señal de muestreo múltiple.- La fotografía de la figura 4.2 fue tomada a la entrada del sistema de microonda. La señal representa un barrido de sincronismo horizontal, en el que se puede observar la señal de muestreo múltiple de forma de ondas sinusoidal a las siguientes frecuencias, 4 ciclos de 0.5 MHZ, 7 ciclos de 1.25 MHZ, 2.0 MHZ, 3.0 MHZ, 3.58 MHZ, y 4.1 MHZ. Igualmente se observa el nivel de referencia de máxima iluminación.

c) Señal de escalera modulada.- La fotografía de la figura 4.3 enseña la función de escalera modulada en barrido de sincronismo horizontal, y que normalmente se usa para mediciones de linealidad. La señal tiene 6 escalones de luminosidad moduladas con señal de color, esta foto se tomó igualmente a la entrada del sistema de microondas.

d) Señal $T \text{ sen}^2$.- La fotografía de la figura 4.4 enseña la señal $12.5 T \text{ sen}^2$ en base de sincronismo horizontal, acompañada de otras tres señales patrón.

De izquierda a derecha se observa: El muestreo de la señal de color ("burst") de 3.58 MHZ; luego la señal de linealidad con seis escalones de luminancia modulados con la subportadora de color con 20 unidades IRE^(*) o con 5% de modulación, luego se encuentra una

(*) La modulación en amplitud de la señal de TV que va desde el nivel de negro hasta el nivel de blanco se divide en 100 unidades IRE.

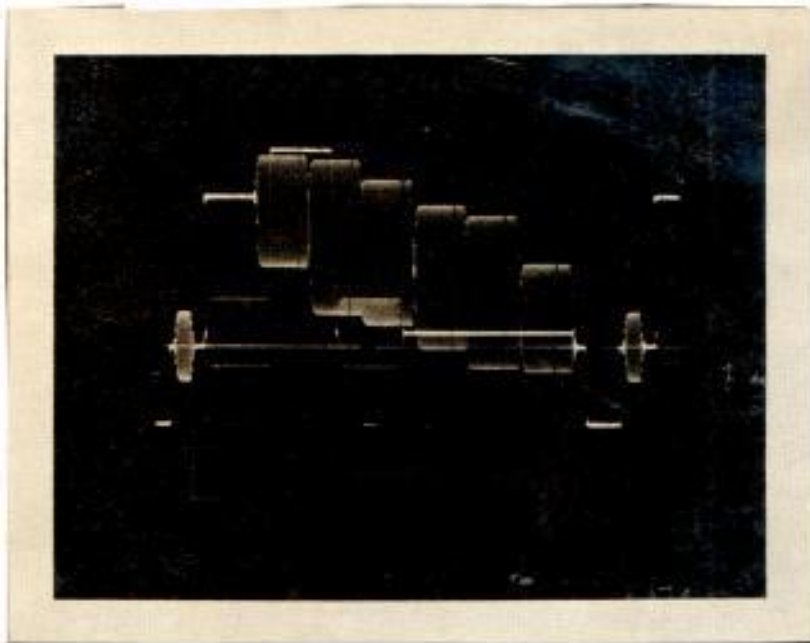


Fig. 4.1 Señal de barras de color

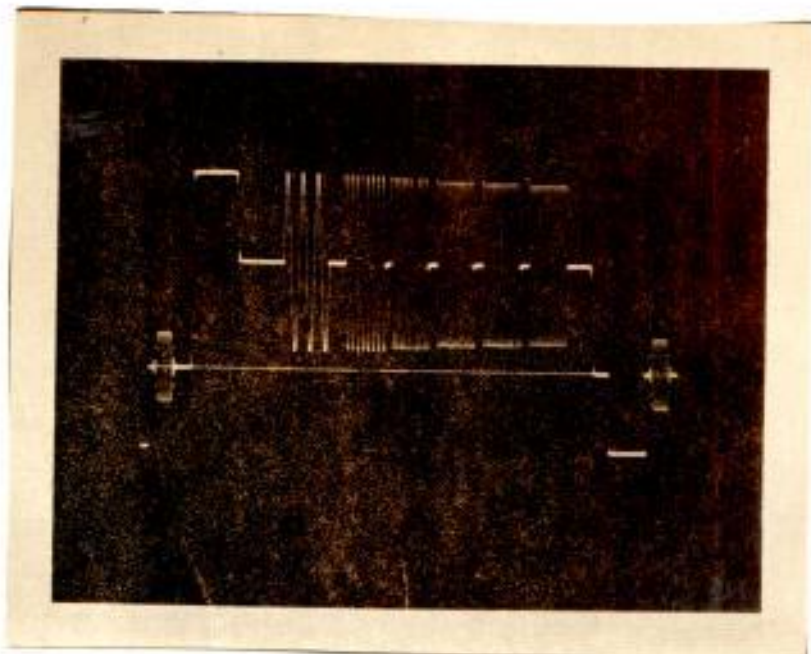


fig. 4.2 Señal de muestreo múltiple

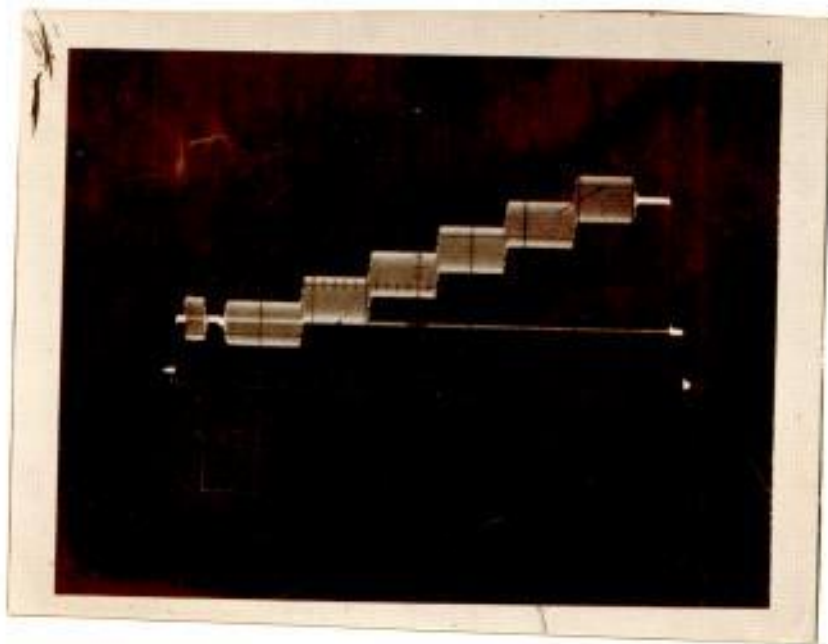


Fig. 4.3 Señal de escalera modulada

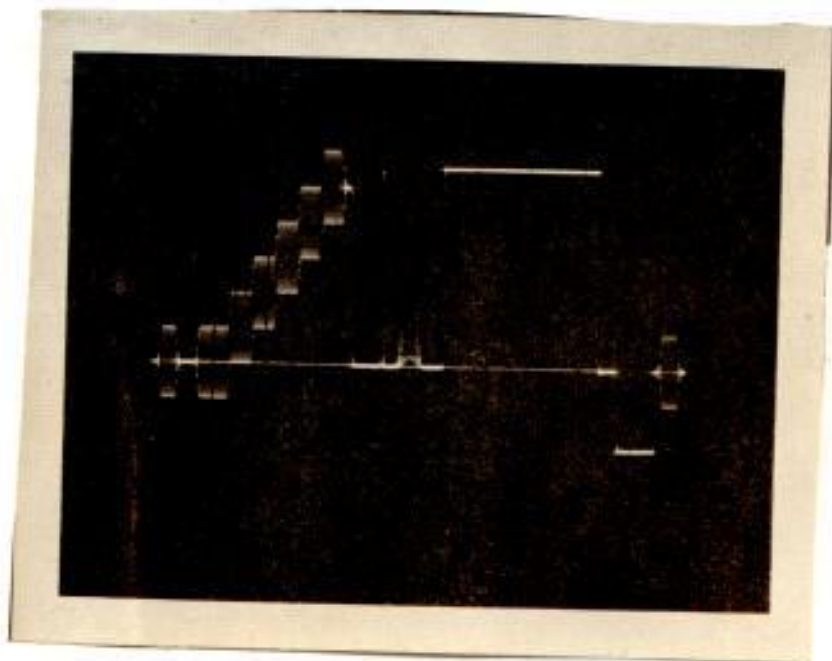


fig. 4.4 Señal $T \text{ sen}^2$

señal impulso $2 T \text{ sen}^2$ y otra $12.5 T \text{ sen}^2$ que indica que la señal tiene una ligera pérdida en alta frecuencia producida por el sistema y el cable antes de entrar en la microonda. Y finalmente se observa una señal escalón modulada hasta 100 unidades IRE.

e) Señal de sincronismo vertical.- En la fotografía de la figura 4.5 se ilustra el sincronismo vertical. En ella se puede observar de izquierda a derecha la parte inferior del campo par de la imagen, los seis pulsos ecualizadores que servirán para mantener el sincronismo horizontal, durante el pulso de sincronismo vertical, el pulso de sincronismo vertical propiamente dicho, y finalmente los seis pulsos ecualizadores. A continuación se observan señales patrón insertadas en el intervalo de sincronismo vertical (VITS) (*), y que se usan para la revisión del comportamiento de la estación en forma automática o manual. Las señales patrón están introducidas en este caso en las líneas 16, 17 y 18 del campo impar, aunque existen señales patrón que pueden introducirse en las líneas disponibles del campo par.

f) Señal de color vista en fase.- La fotografía de la figura 4.6- ilustra la salida de un vectoroscopio para la señal de barras de color; se puede observar en la gráticula del vectoroscopio los tres colores primarios (rojo, azul, verde) y los tres colores complementarios (celeste, amarillo, y magenta) distribuidos en saturación y fase; también se puede observar los vectores referenciales I (en fase), y Q (en cuadratura) y el muestreo referencial ("burst")

(*) ("vertical interval test signals")

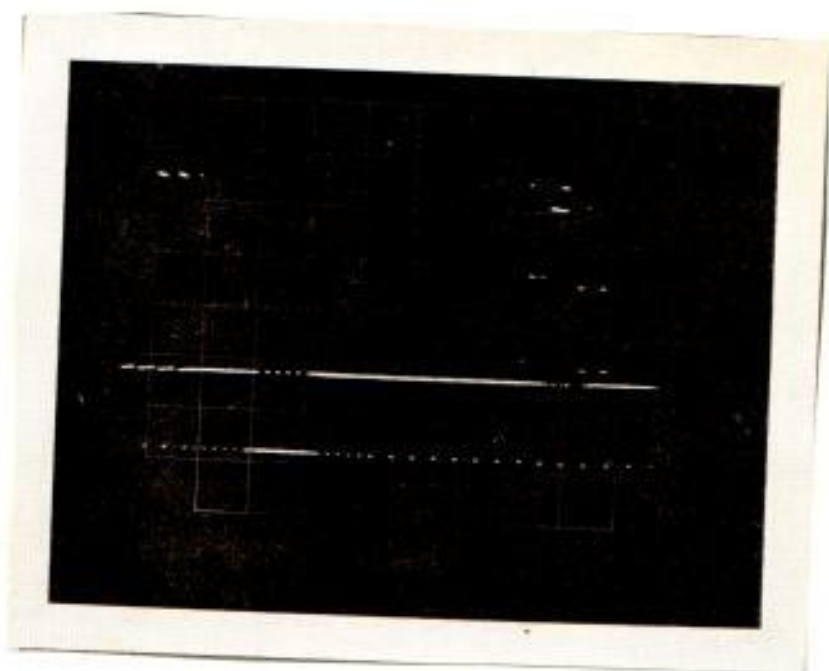


Fig. 4.5 Señal de sincronismo vertical

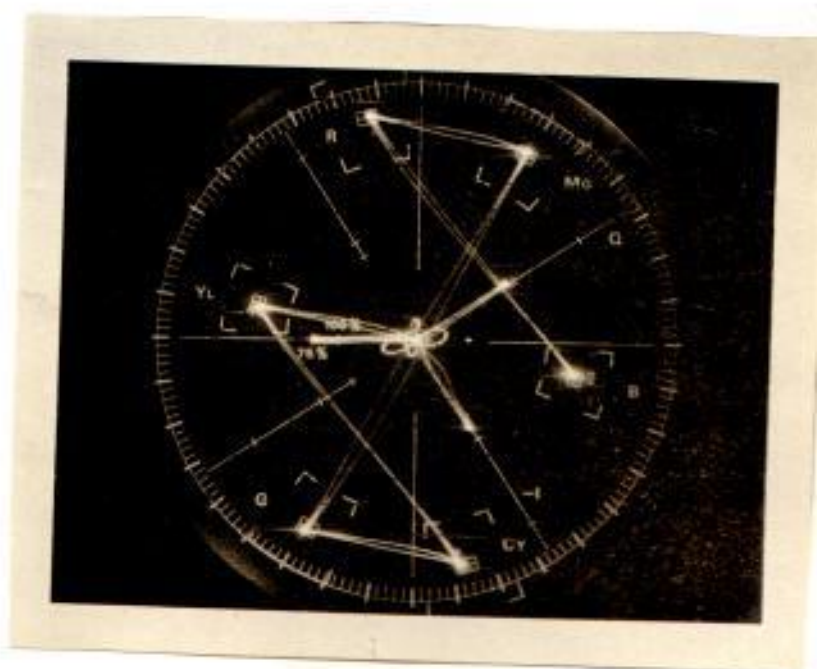


Fig 4.6 Señal de color vista en fase

de la señal de 3.58 MHz, subportadora de color.

En la grátícula, al extremo del vector para cada color hay un cuadro pequeño que indica una desviación de 1 % de la señal deseada, y el cuadro grande indica una desviación de 2 % .

g) Ganancia diferencial - fase diferencial.- Existen dos factores de mucha importancia para evaluar un sistema de video y pueden ser - observados en un medidor especial.

En la parte superior de la figura 4.7 se observa una imágen típica de un sistema de video con la fase correcta en todos los niveles de video. Para hacer éste tipo de medición, se utiliza normalmente la señal de escalera modulada, la parte de la onda de 3.58 MHz es la que nos brinda información sobre el estado de la fase del sistema , - mientras que los niveles de escalera de baja frecuencia nos da información sobre la linealidad del sistema. La parte inferior de la figura 4.7 enseña una salida típica de un sistema lineal de video, marcando los seis escalones desde 0 unidades IRE hasta 100 unidades IRE.

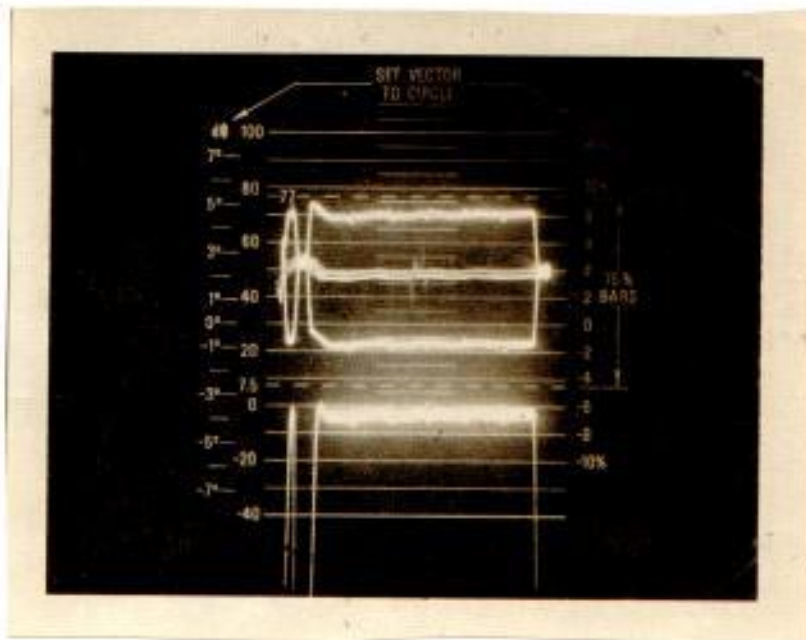


Fig. 4.7 Ganancia diferencial - Fase diferencial

4.2.1.2 Señales de prueba a la salida del sistema de microondas

a) Señal de barras de color.- La fotografía de la figura 4.8 enseña la señal de barras de color de llegada en la cual como rasgo fundamental se puede observar cierta cantidad de ruido incorporado a la señal. No se observa distorsión en la señal de nivel de blanco y en los impulsos de sincronismo.

b) Señal de muestreo múltiple.- En la fotografía de la figura 4.9 se observa un efecto muy importante y es la pérdida de ganancia con el aumento de frecuencia. De los valores que se pueden estimar en la fotografía, se puede construir un gráfico de respuesta de frecuencia de los valores relativos observados. Ver figura 4.10.

c) Señal compuesta.- En la fotografía de la figura 4.11 se observa una señal patrón conformada de: Una primera señal en la cual podemos observar que su linealidad se mantiene dentro de los límites donde solo podría detectarse un error con un medidor especial (medidor de ganancia diferencial), luego se observan dos impulsos, el $2 T \text{ sen}^2$ y luego el $12.5 T \text{ sen}^2$; en este último se puede observar un incremento de distorsión en la base de la señal $12.5 T \text{ sen}^2$ que indica una pérdida mayor en alta frecuencia en la señal de llegada.

d) Relación señal ruido.- En la fotografía de la figura 4.12 a se ilustra nuevamente las señales $12.5 T \text{ sen}^2$, $2 T \text{ sen}^2$ y una función - escalón. Esta fotografía toma fundamental importancia porque se quie

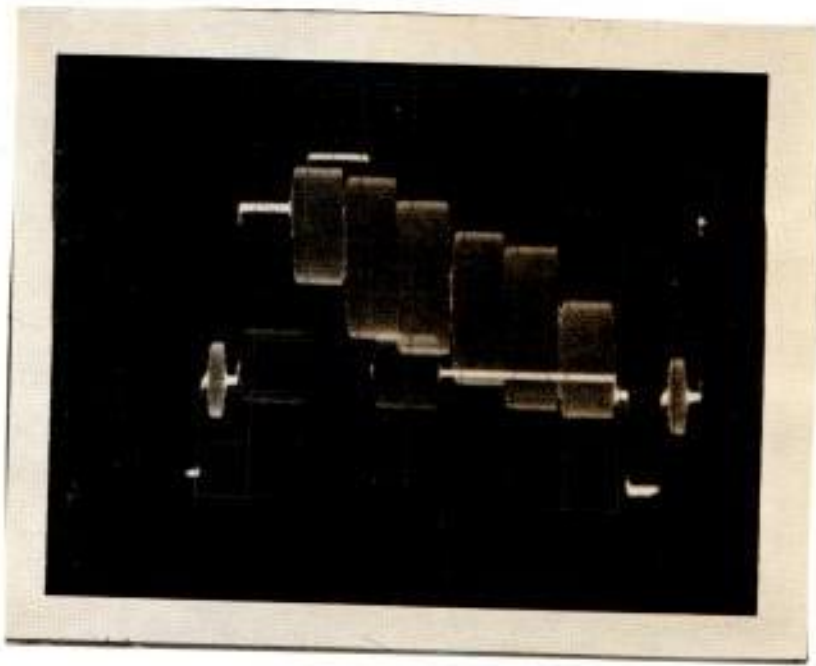


Fig 4.8 Señal de barras de color (salida)

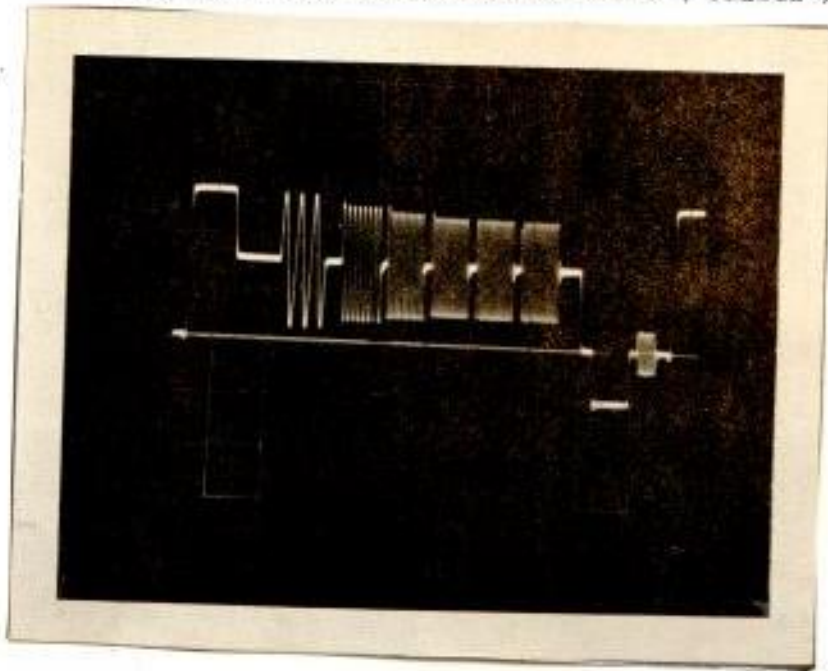


Fig. 4.9 Señal de muestreo múltiple (salida)

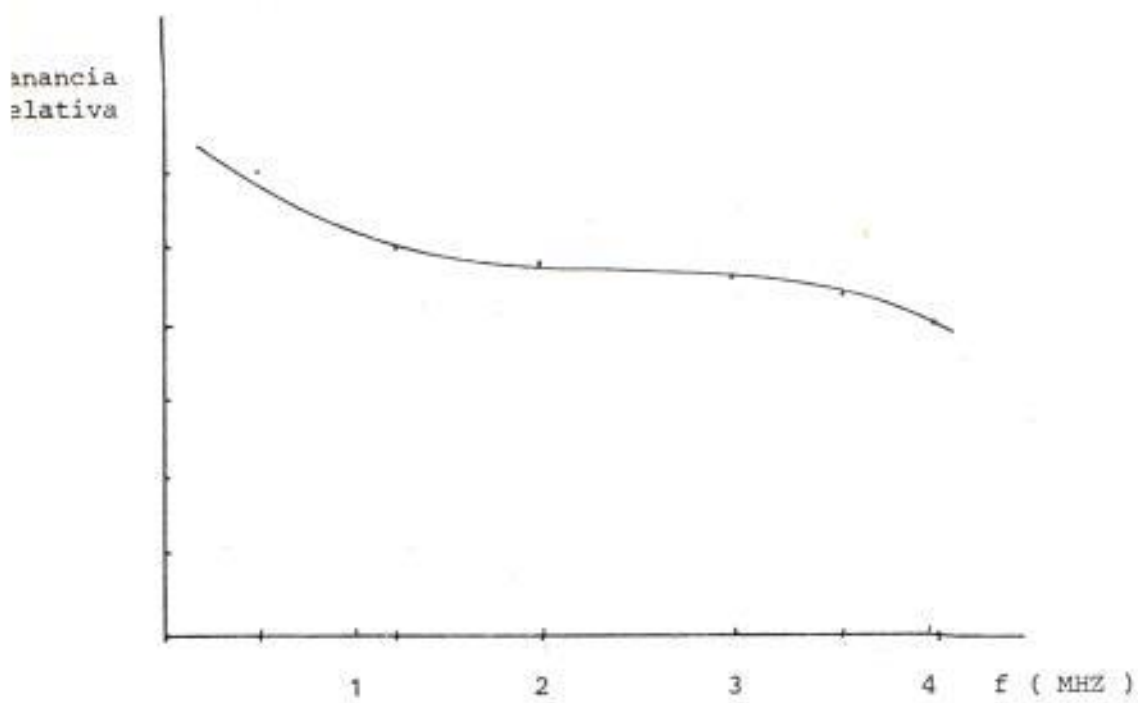


Fig. 4.10 Gráfico de respuesta de frecuencia

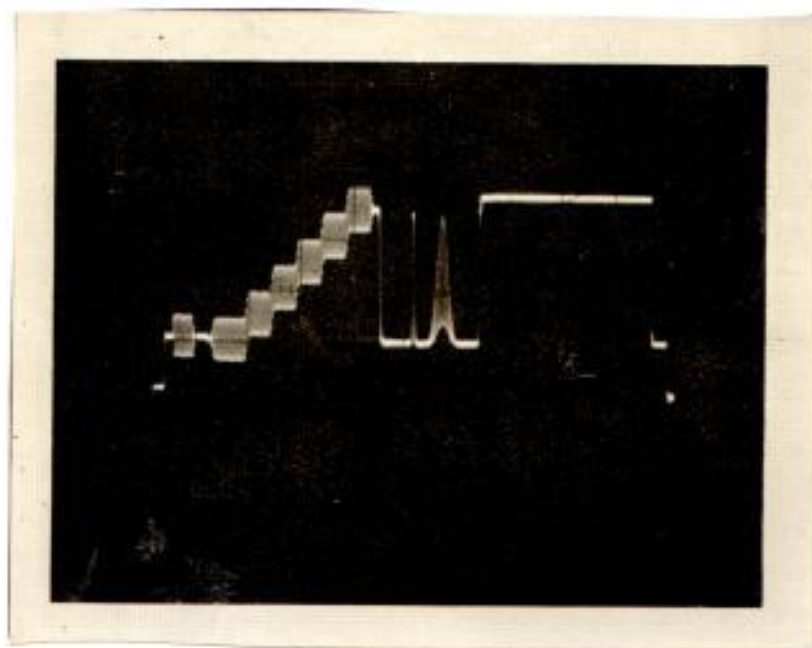


Fig. 4.11 Señal compuesta (salida)

re medir la relación señal-ruido de la señal a la salida del enlace de microondas.

La ganancia del osciloscopio fué 0.5 v/div., de la fotografía se puede ver que la señal tiene un valor pico de 1.8 voltios.

La fotografía de la figura 4.12.b se tomó a la misma señal de salida pero con una ganancia en el osciloscopio de 0.02 v/div, esto quiere decir que el nivel de ruido añadido a la señal de video es de 0.005 voltios .

Comparando este valor con el de la figura 4.12.a podemos hallar un valor aproximado de la relación señal-ruido del sistema:

$$S / R = 20 \log \frac{1.8}{0.005} \quad (\text{dB})$$

$$S / R = 51.13 \quad (\text{dB})$$

e) En la fotografía de la figura 4.13 se observa otra vista de la señal de linealidad modulada con la subportadora de color de 3.58 MHz en la cual no se puede observar a simple vista distorsión alguna.

f) En la fotografía de la figura 4.14 se observa el intervalo de sincronismo vertical y en él, las señales de prueba en las líneas 16 a 18 de la parte superior del cuadro.

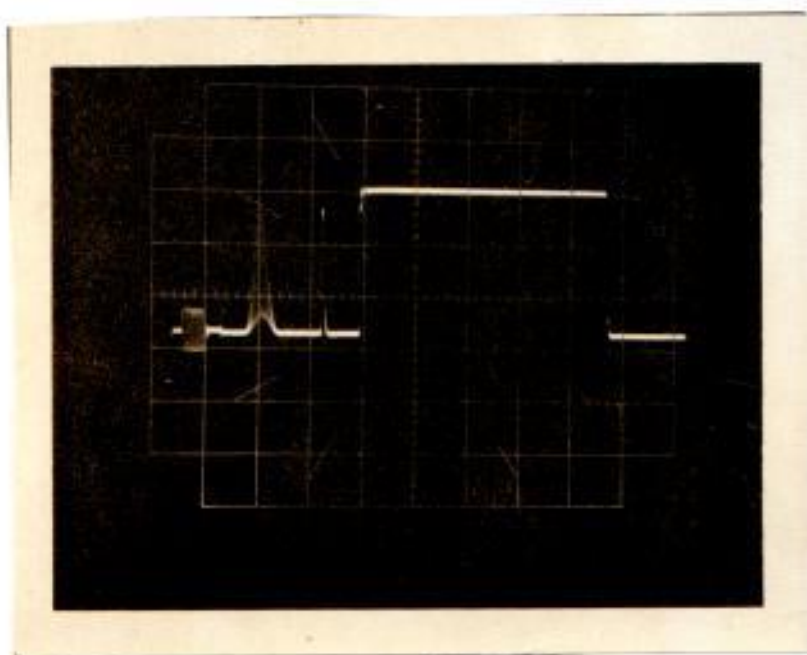


Fig. 4.12.a Relación señal / ruido (salida)

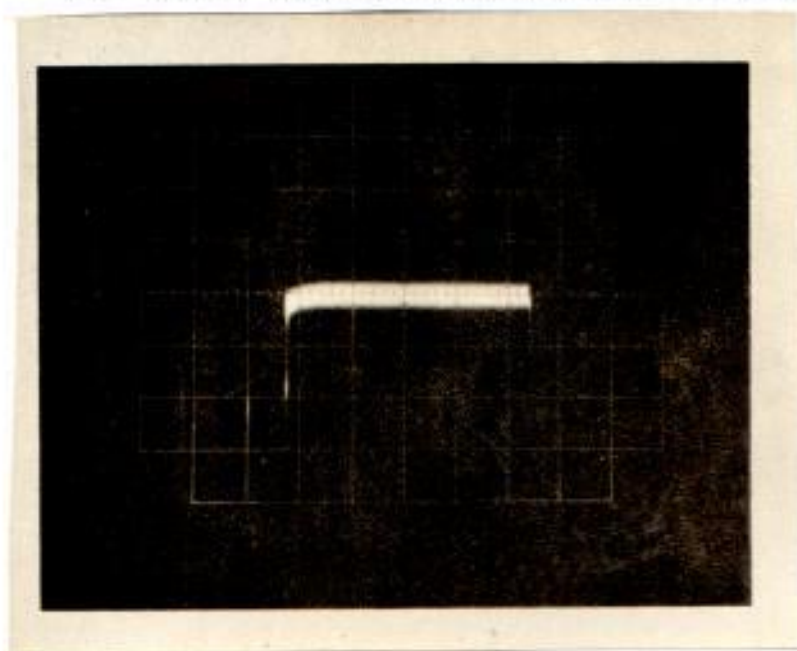


Fig. 4.12.b Relación señal / ruido (salida)

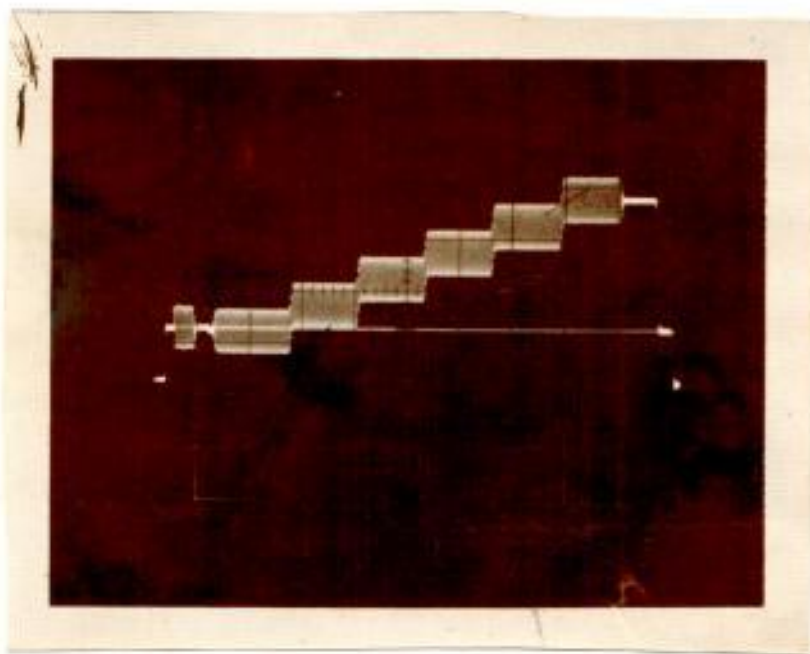


Fig. 4.13 Señal de linealidad (salida)

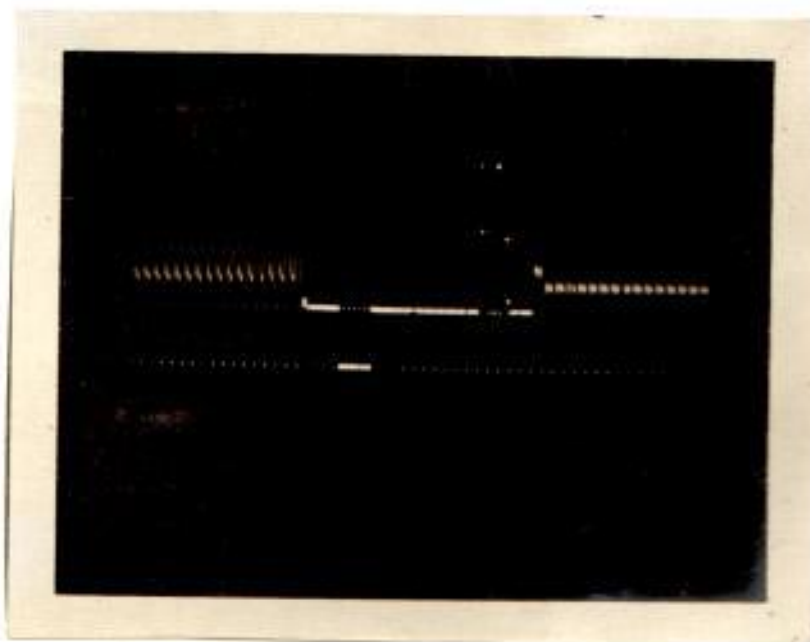


Fig 4.14 Señal de sincronismo vertical (salida)

g) La fotografía de la figura 4.15 ilustra la señal normal de video en un barrido de sincronismo horizontal; se puede observar el pulso de sincronismo horizontal, la señal de muestreo de color ("burst") de 3.58 MHZ y la información de video modulada en amplitud, la luminancia, y en fase la subportadora de color de 3.58 MHZ.

4.2.2 Mediciones en el sistema de VHF

Para poder evaluar el nivel real de la señal irradiada en cada punto receptor, se procedió a hacer una serie de mediciones de intensidad de campo en el sector en el cual nos proponíamos cubrir con la señal de televisión, y de esta forma al colocar estas mediciones de intensidad de campo en el gráfico donde estén las curvas de nivel de intensidad de campo teóricas, observar la diferencia entre los valores esperados y los valores medidos.

Para hacer las mediciones se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.- Se construyó una antena dipolo cortada para la frecuencia de la portadora de video (55.25 MHZ) según se muestra en la figura 4.16.
- 2.- Se montó la antena sobre un mástil de 2.5 m, de material aislante de tal forma que quedara en la posición más alta del mismo, y nos permitiera rotar la antena para buscar el máximo nivel de señal.
- 3.- Se montó esta antena sobre la carrocería de un vehículo

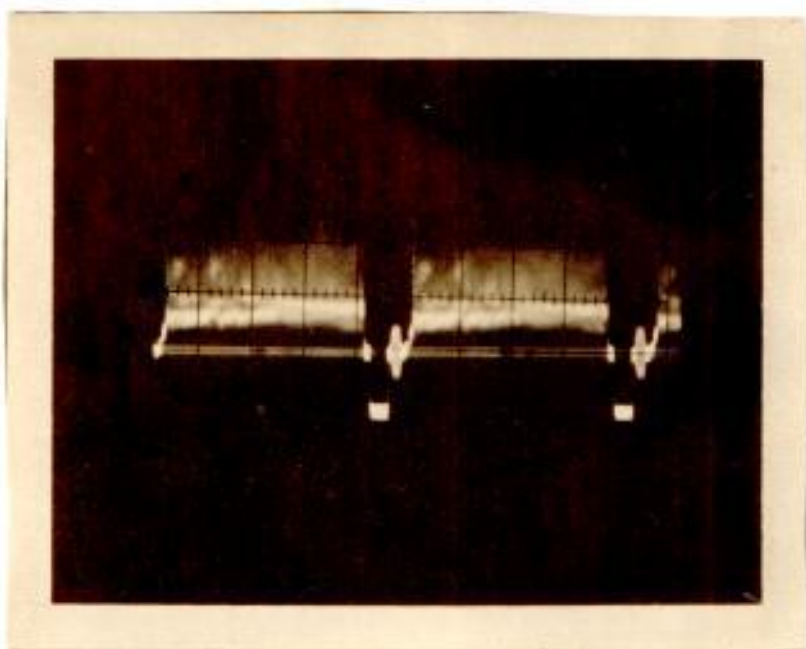


Fig. 4.15 Señal de video (salida)

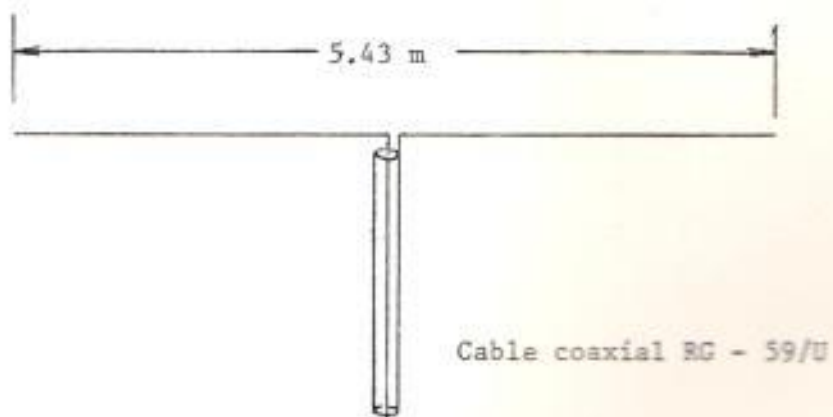


Fig. 4.16 Dipolo de prueba $f = 55.25$ MHz

y se conectó la antena mediante cable coaxial al medidor de intensidad de campo.

4.- Se recorrió la Península de Santa Elena y se tomaron muestras del nivel de intensidad de campo en aquellos puntos en los que la carretera cruzaba con los niveles de intensidad de campo teóricos. Estos puntos nos darán una idea objetiva del comportamiento real del sistema. Los valores de intensidad de campo están evaluados en forma relativa. Los valores obtenidos en las mediciones se hacen referencia en la figura 4.17.

4.3 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE CALCULOS TEORICOS Y RESULTADOS DEL SISTEMA SELECCIONADO.

Esta sección pretende hacer una evaluación cuantitativa entre los VALORES esperados, que fueron tema de estudio de los capítulos #2 y #3 con los resultados conseguidos por medios experimentales de el sistema montado.

Esta sección se divide en dos partes principales:

- Análisis del enlace de microondas
- Análisis del sistema en VHF.

4.3.1 Análisis del enlace de microondas.-

Al observar el comportamiento del enlace de microondas, no se pudo conseguir equipo de prueba que permitiera determinar con precisión ciertos parámetros de importancia tales como (RCL) nivel de señal de entrada en cada etapa del enlace, o potencia de salida del equipo.

Una forma de ver los resultados obtenidos es enviar señales patrón por el sistema, y así obtener datos tanto a la salida como a la entrada que nos permitieron determinar los parámetros de mayor importancia práctica tales como linealidad, respuesta de frecuencia. Con este fin se tomaron una serie de fotografías de la señal a la entrada de la microonda que están recopiladas en la subsección 4.2.1.1.

De ellos se puede concluir que:

- Al observar las figuras 4.1 y 4.8 de la entrada y salida de el sistema de la señal de barras de color se pudo observar en un monitor

de televisión que no había variación apreciable de la fase de la señal de color; no se tubo a la salida del sistema un vectoroscopio que nos permitiera observar la señal en fase, pero un chequeo visual del monitor nos indica que practicamente no hay cambio de fase, tambien se --- puede notar una pequeña cantidad de ruido incorporada a la señal de video.

La linealidad del sistema conforme se muestra en las fotogra-- fías 4.3 y 4.11 a la entrada y a la salida del sistema respectivamente, no muestra variación a simple vista lo que quiere decir que la escala de grises de la señal de televisión será reproducida con fidelidad.

La figura 4.2 y 4.9 enseñan la entrada y la salida de la señal " multi burst " . Esta señal demuestra que a la entrada de la señal - en el equipo de microondas ya existe una pequeña pérdida en alta fre-- cuencia producida por los equipos en la estación antes de entrar en el transmisor de microondas. La señal de salida demuestra que en el siste-- ma ocurre una pérdida mayor en alta frecuencia. Con los valores de la señal de salida se puede construir un gráfico de respuesta de frecuen-- cia relativa de el sistema como lo muestra la figura 4.10 .

La figura 4.12.a y 4.12.b nos dan una apreciación de la rela-- ción señal ruido del sistema, cuyo valor experimental es de 51.13 dB. Un factor muy importante para la disminución de la relación señal rui-- do es la posición exacta de las antenas pues debido a su diámetro, el " ángulo de potencia media " es muy pequeño, y sobre todo las antenas en Cerro de Animas y Cerro los Capay están sometidos a fuer-----

tes vientos que puedan producir una ligera desviación de la antena y - por tanto una pérdida de señal que se refleja en una disminución de la relación señal ruido.

4.3.2 Análisis del sistema en VHF.-

En el capítulo #3 se establecieron los parámetros necesarios - que debería cumplirse. Para obtener nuestro propósito de mantener una SEÑAL DE TELEVISION CLASE A. En los puntos principales de atracción - turística de la Península de Santa Elena.

El gráfico 3.14 es una conclusión teórica de todo este estudio y en el se puede observar las curvas de nivel de intensidad de campo - resultantes tomando en cuenta los siguientes factores:

- a. Altura de la antena
- b. Potencia de salida del transmisor
- c. Topografía del terreno circundante
- d. Ganancia de las antenas.

Para construir el gráfico 3.14 se tomaron en cuenta todas estas variables y se calculó para cada nivel de señal en el receptor la distancia desde la base de la antena para un valor esperado de la señal - de televisión.

La figura 4.17 muestra los valores medidos de acuerdo al proce dimiento indicado en la sección 4.2.2.

Para tomar una muestra representativa de la señal en el punto de observación, se procuró situarse en un lugar elevado, según lo per

mitiera el terreno, pero en general se puede comprobar que existen ad
ciionalmente algunos factores que no pueden ser evaluados entre los cu
ales está principalmente la reflexión. Nótese por ejemplo dos valores
tomados en Salinas, uno de ellos 70 dB en el Malecón de Salinas, y el
otro en una calle interior tras de los edificios elevados que obstru -
yen la línea de vista directa, tenemos una pérdida de señal de 10 dB.

Otro valor de importancia es el tomado en Punta Carnero, que
dió una lectura apreciable "62 dB" por estar en un lugar elevado res -
pecto a la topografía circundante.

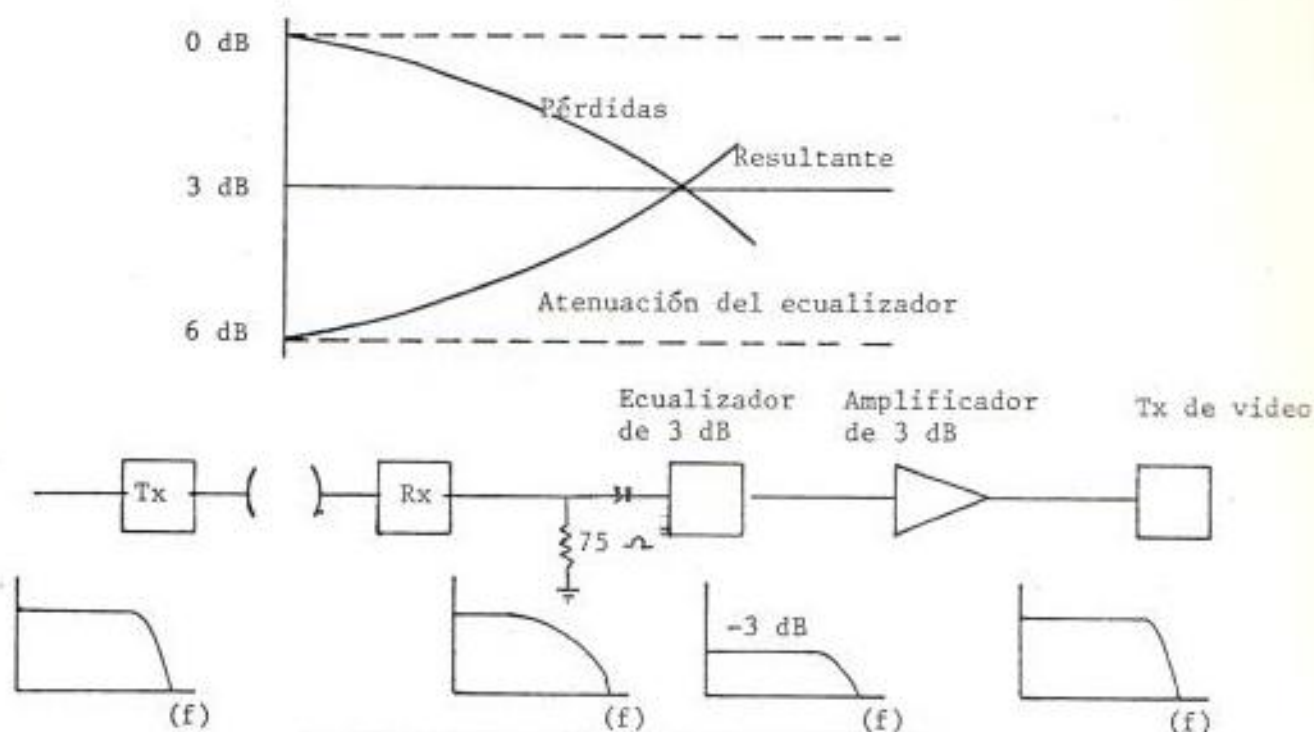
Las pérdidas en nuestro sistema de medidas introducidas por -
el cable, los conectores y el mismo medidor nos impide determinar co -
mo valores absolutos de la señal los valores observados pudiendo con
siderarse estos como valores relativos, representativos de los niveles
de intensidad de campo estimado en cada punto.

4.4 RECOMENDACIONES

Se puede concluir con satisfacción que el objetivo propuesto
de llegar con una señal de televisión en color clase A a los balnea -
rios de la Península de Santa Elena, se ha cumplido, a excepción de
una pequeña pérdida de alta frecuencia que podría ser compensada por
medio de un ecualizador de video a la salida del sistema de microon -
das, el que deberá ser calibrado para compensar esta pérdida en alta
frecuencia a la que hacemos referencia.

Un ecualizador pasivo para pérdidas en un cable puede ser

instalado. Estos ecualizadores, normalmente pueden ajustar su respuesta de frecuencia a la requerida por el sistema como se ilustra en la figura 4.18



4.18 Respuesta típica de un ecualizador

En cuanto al sistema en VHF, una antena de mayor ganancia nos permitiría concentrar más la energía sobre la zona útil que deseamos cubrir, evitándonos pérdida innecesaria de energía que se transmite hacia el mar.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ELECTROMAGNETIC WAVES AND RADIO SYSTEMS
EDWARD C JORDAN & KEITH G BALMAN SEGUNDA EDICION
- 2.- TRANS - HORIZON RADIO - RELAY SYSTEMS
MARKUSEN TOKYO, JAPON (I PARTE)
- 3.- TELEVISION BROADCASTING
EQUIPMENT, SYSTEMS, AND OPERATING FUNDAMENTALS.
HAROLD E. HNNES PRIMERA EDICION 1976
- 4.- PRINCIPLES OF COMMUNICATIONS SYSTEMS
TAUB. SCHILLING 1971
- 5.- DICCIONARIO DE ELECTRONICA
HARLEY CARTER 1962
- 6.- MEASUREMENT CONCEPTS - TELEVISION SYSTEMS
TEKTRONIX INC 1969