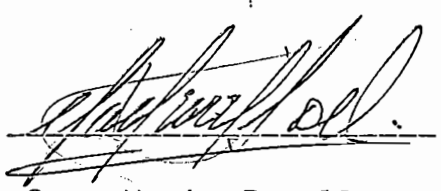
DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE ATENUACION EN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS DE VHF

Mario Benítez Vásconez

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
BIBLIOTECA
2986
E. P. N.

Certifico que el presente trabajo ha sido realizado en su totalidad por el Sr. Mario Benítez Vásconez.



Ing. Mario Cevallos

DIRECTOR DE TESIS

D E D I C A T O R I A

****

A MIS PADRES

ESPOSA

E HIJOS

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. Mario Cevallos, Director de Tesis, a las autoridades y compañeros de la DIRECCION NACIONAL DE FRECUENCIAS DEL IETEL, a mi familia y a todas las personas que de una u otra forma han colaborado en la consecución del presente trabajo.

T E S I S D E G R A D O

****

" Determinación de los parámetros de atenuación en la propagación de las ondas de VHF "

1.- Introducción.

2.- Mecanismos de propagación en frecuencias superiores a 30 Megahertz.

3.- Factores que intervienen en el cálculo de intensidad de campo eléctrico.

4.- Pérdidas en el trayecto de propagación.

5.- Evaluación de los parámetros de atenuación.

6.- Comentarios y conclusiones.

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

CAPITULO UNO - INTRODUCCION

Introducción..... 1-1

CAPITULO DOS - MECANISMOS DE PROPAGACION EN FRECUENCIAS SUPERIORES A 30 MEGAHERTZ

2.1 Onda Terrestre..... 2-4

2.1.1 Onda Espacial..... 2-12

2.1.1.1 Onda Directa..... 2-16

2.1.1.2 Onda Reflejada..... 2-16

2.1.2 Onda Superficial..... 2-30

2.2 Onda Troposférica..... 2-36

CAPITULO TRES - FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

3.1 Potencia de transmisión..... 3-3

3.2 Ganancias..... 3-5

3.2.1 Ganancia de Antena Transmisora..... 3-5

3.2.2 Ganancia de Antena Receptora..... 3-16

3.2.3 Ganancia por Altura de Antenas..... 3-22

3.3 Pérdidas..... 3-24

3.3.1 Pérdidas en el Dipléxer del Transmisor..... 3-25

3.3.2 Pérdidas en líneas de alimentación de antenas y acoplamientos..... 3.28

3.3.3 Pérdidas en el Trayecto de propagación..... 3-30

CAPITULO CUATRO - PERDIDAS EN EL TRAYECTO DE PROPAGACION

4.1 Pérdidas por difracción..... 4-2
4.2 Pérdidas por dispersión..... 4-13
4.3 Pérdidas por reflexión..... 4-18
4.4 Pérdidas por el terreno existente en el camino del rayo..... 4-27
4.4.1 Irregularidades del terreno..... 4-28
4.4.2 Vegetación en el trayecto..... 4-30
4.4.3 Ciudades existentes en el trayecto..... 4-34

CAPITULO CINCO - EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE ATENUACION

5.1 Mediciones de Intensidad de Campo Electrico. 5-7
5.2 Perfiles de los diferentes trayectos..... 5-42
5.3 Determinación de las clases de trayectos.... 5-45
5.4 Cálculo de los valores de atenuación para los diferentes trayectos..... 5-47

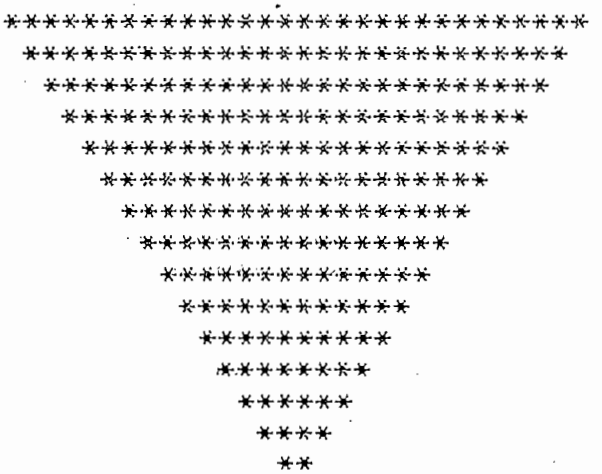
CAPITULO SEIS - COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

6.1 Comentarios..... 6-2
6.2 Conclusiones..... 6-8
6.3 Recomendaciones..... 6-11

ANEXO # 1

BIBLIOGRAFIA

INDICE GENERAL



C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

INTRODUCCION

Desde el punto de vista de la administración de frecuencias, existe una diferencia fundamental entre la utilización de frecuencias superiores a 30 MHz y la de las frecuencias inferiores.

Se menciona el valor de 30 MHz porque las disposiciones reglamentarias para frecuencias superiores a 30 MHz son substancialmente diferentes de las aplicables a frecuencias inferiores a 30 MHz. Sin embargo, debe observarse que, en lo que respecta a los fenómenos naturales que determinan la propagación de las ondas radioeléctricas, los cambios en las condiciones de propagación no se presentan de una manera brusca. En la práctica para que se manifiesten diferencias en las condiciones de propagación se requieren variaciones de unos 20 a 70 MHz. Por debajo de esta gama de transición, la propagación está afectada por variaciones diurnas y estacionales, asi como por variaciones a largo plazo causadas por la fluctuación de la actividad solar, de la de la que depende también la altura y la densidad de las capas ionosféricas. La reflexión de las ondas radioeléctricas en una capa ionosférica es el modo de propagación fundamental para las comunicaciones a larga distancia. Aunque este modo es inestable como

consecuencia de los fenómenos naturales mencionados, el usuario de las frecuencias puede contar con que los efectos se repetirán con una periodicidad sistemática y establecer circuitos radioeléctricos confiables.

En frecuencias de las bandas por encima de la gama de transición, el caso es diferente. Hay que considerar que los cambios en las condiciones del circuito radioléctrico son de carácter mas bien aleatorio y, aunque se pueda relacionarlos con las variaciones que se producen en las capas inferiores de la atmósfera, que son de tipo diario o estacional, no se producen sistemáticamente de manera periódica.

El problema con el que se tropieza al tratar de comprender el comportamiento de los circuitos radioeléctricos por encima de 30 MHz es que no se pueden separar de forma adecuada los distintos fenómenos físicos que influyen en la propagación. A menudo su efecto no es lo suficientemente claro para poder identificar con facilidad su influencia individual o su contribución a la señal recibida.

El problema de la propagación en frecuencias de VHF se agrava aún más en territorios muy accidentados como los existentes en la sierra ecuatoriana donde no es posible aplicar los mismos criterios que se aplican en otros

países poseedores de territorios con topografía diferente a la nuestra. Pero al momento, dentro de la administración de frecuencias, se ha utilizado métodos y estudios de propagación realizados en otros países con territorios diferentes a los nuestros por no contar con datos específicos de pérdidas de propagación existentes en nuestro país.

Es pues, de mucho interés en el campo de radiocomunicaciones, el estudio de las características de propagación en todas las bandas de frecuencias, para de esta manera optimizar el uso del espectro radioeléctrico.

En nuestro país, la entidad encargada de la administración y control de frecuencias es la DIRECCION NACIONAL DE FRECUENCIAS del IETEL, que dentro de sus proyectos tiene el de la *Determinación de los Parámetros de Propagación y Ruido Radioeléctrico para la Planificación y Regulación de los Servicios*. Es por esto, que esta Tesis pretende ser una colaboración para lograr la consecución de los fines perseguidos dentro de este proyecto.

Lo que se pretende con el presente estudio es principalmente lograr un instrumento para ser utilizado de manera simple en los cálculos de propagación, que

además contenga datos específicos para el tipo de territorio propio de nuestro país.

Para lograr estos propósitos se ha decidido tomar mediciones de intensidad de campo eléctrico de las señales provenientes de los transmisores de televisión. Este estudio está particularizado para la provincia de Pichincha, por lo tanto las estaciones a medirse son aquellas cuyas antenas transmisoras se encuentran ubicadas en el cerro Pichincha.

Se toman como estaciones a medirse las de televisión, por cuanto éstas están dentro de la banda de frecuencias de VHF (Very High Frecuency) y cubren gran parte de esta banda.

Las mediciones de intensidad de campo de las estaciones mencionadas se las realiza solo en la provincia de Pichincha y específicamente en la hoya del Guayllabamba debido a que fuera de los límites de ésta, no es posible detectar las señales de televisión por ser este sector un valle cercado por altas montañas que obstruyen las señales radioeléctricas.

Las mediciones de las señales de televisión se las hace con un equipo medidor de intensidad de campo que por no ser portátil obliga a que los puntos de medición sean

cercanos a caminos carrosables y de fácil acceso.

Los medios usados para estas mediciones, en cuanto a equipo, vehículo y personal, son los proporcionados por la Dirección Nacional de Frecuencias para el efecto.

El objetivo principal que se persigue en esta Tesis es el de lograr su utilización como modelo de posteriores estudios que necesariamente tendrán que realizarse en el resto del pais y en las diferentes bandas de frecuencias. Los datos que se obtengan en igual forma que los de esta tesis servirán para contar con características de propagación específicas de nuestro territorio y se podrían realizar los diferentes estudios y cálculos de propagación con menor riesgo de errores, ya que en el presente se realizan los mismos suponiendo muchos parámetros que no han sido comprobados en nuestro país.

Uno de los métodos más usados en la elaboración de cálculos de propagación, por ser de uso fácil y contener varios parámetros de corrección debido a accidentes topográficos, es el presentado por el CCIR (Comite Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones) de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que en muchos de los casos no establece territorios tan accidentados como los que se presenta en la práctica

C A P I T U L O I I

MECANISMOS DE PROPAGACION EN FRECUENCIAS SUPERIORES A 30 MEGAHERTZ

2.1 Onda Terrestre

2.1.1 Onda Espacial

2.1.1.1 Onda Directa

2.1.1.2 Onda Reflejada

2.1.2 Onda Superficial

2.2 Onda Troposférica

MECANISMOS DE PROPAGACION EN FRECUENCIAS SUPERIORES A 30 MEGAHERTZ

Cuando una corriente eléctrica fluye en un conductor sencillo, que puede ser una antena simple, un campo magnético H se hace presente alrededor de la antena. También se experimentan cargas positivas y negativas, las cuales provocan que se haga presente el campo eléctrico E. A medida que la polaridad del voltaje entrante en el conductor cambia, las cargas que producen el campo eléctrico se están moviendo constantemente de un extremo de la antena al otro, lo que provoca la radiación de las ondas electromagnéticas desde la antena, y de esta manera se produce la propagación de las mismas.

En muchos casos de propagación en los que se puede hablar de la atmósfera como un espacio libre, es conveniente conocer el valor de la intensidad de campo en el espacio libre E que está dado por la *ecuación (1)* para un radiador isotrópico:

$$E_{\infty} = \sqrt{Z_{\infty}/4\pi} \times \sqrt{P} \times 1/d \quad [V/m] \qquad (1)$$

Donde: P= Potencia radiada [w]

Z_{∞}= impedancia del espacio libre [ohms]

d= Distancia entre el punto de medición y el sistema radiante [m]

Si el sistema radiante isotrópico es remplazado por un sistema real de ganancia G, la intensidad del campo en el espacio libre E_∞ para $Z_\infty = 120$ [Ω] viene dada por:

$$E_\infty = \frac{\sqrt{30.P.G}}{d} \quad [V/m] \qquad (2)$$

Transformando la ***ecuación (2)*** a unidades mas usuales quedaría:

$$E_\infty\ [dBu/m] = 74.77 + G\ [dB] + P\ [dBw] - 20 \log d\ [Km] \qquad (3)$$

Esta ***ecuación (3)*** es muy usada en cualquier estudio de propagación, aún cuando en realidad la propagación de las ondas electromagnéticas se efectúa por diferentes caminos dentro de la atmósfera, de acuerdo a los cuales se da el nombre a las ondas; así tenemos:

a) Onda Terrestre o Superficial

b) Onda Troposférica

c) Onda Ionosférica

que son los tres grupos básicos en los que se suele dividir a las ondas.

a) **Onda Terrestre:** Son las ondas que al atravezar el espacio atmosférico sufren la influencia de la tierra. Para fines prácticos se la divide en dos partes: 1) Ondas superficiales.- Que son

las que viajan a lo largo de la superficie terrestre; y 2) Ondas espaciales.- Que son las ondas que viajan directamente del transmisor al receptor o sufren alguna reflexión, pero en todo caso no reciben mayor influencia de la tierra.

b) **Onda Troposférica:** Es aquella onda que llega a la antena receptora después de haber sufrido la influencia de la no homogeneidad de la tropósfera.

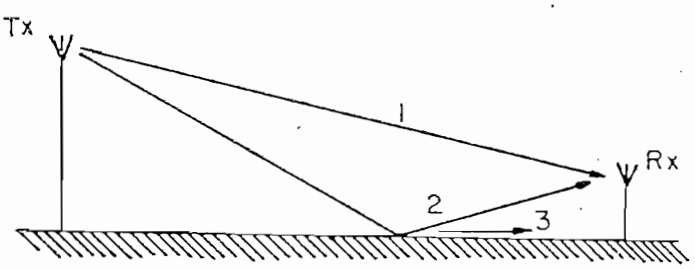
c) **Onda Ionosférica:** Es aquella que llega a la antena receptora después de sufrir una reflexión en la Ionósfera. En el presente capítulo no se estudian este tipo de ondas por cuanto las frecuencias superiores a 30 MH_z, por lo general, no se reflejan en la Ionósfera sino que la penetran.

2.1 Onda Terrestre

La onda terrestre, está constituída por la parte de las ondas que al atravesar el espacio atmosférico sufren la influencia de la tierra, la misma que, al igual que la atmósfera , no es homogénea; existen variaciones de la contextura terrestre, por razones de la estructura geofísica, la naturaleza de la vegetación, y/o el contenido de humedad. Estas heterogeneidades dan a la

superficie terrestre unas características específicas que influyen en forma diferente sobre las ondas electromagnéticas de distintas frecuencias.

A la onda terrestre la constituyen, la onda espacial y la onda superficial. Es conveniente dividir a la onda espacial, en onda directa y onda reflejada. En la *figura 2.1.1* todos los rayos son ondas terrestres denominadas: 1, onda directa; 2, onda reflejada; 3, onda superficial.



Diferentes caminos de la onda terrestre

FIGURA 2.1.1

Si consideramos a la tierra como una superficie reflectora, de esta manera podemos expresar las características de la tierra en términos de permitividad ε y conductividad σ.

De las ecuaciones de Maxwell para un medio de permitividad ε y de conductividad σ se tiene que:

$$\nabla \times H = \varepsilon \dot{\bar{E}} + \sigma \bar{E} \qquad (2.1.1)$$

Si la variación de $\bar{E}$ con el tiempo es sinusoidal:

$$\bar{E} = E_{\varnothing}\, e^{jwt}$$

$$\dot{\bar{E}} = jwE_{\varnothing}\, e^{jwt}$$

$$= jw\bar{E}$$

$$\bar{E} = \dot{\bar{E}} / jw \qquad (2.1.2)$$

Remplazando esto en (2.1.1):

$$\nabla \times H = \varepsilon \dot{\bar{E}} + (\sigma / jw)\dot{\bar{E}}$$

$$= (\varepsilon + \sigma / jw)\dot{\bar{E}}$$

$$= \varepsilon' E \qquad (2.1.3)$$

Donde: $\varepsilon' = (\varepsilon + \sigma / jw)$

De la *ecuación (2.1.3)* es evidente que un dieléctrico parcialmente conductor puede considerarse como un dieléctrico con una permitividad compleja donde:

$$\varepsilon' = (1 + \sigma / jw\varepsilon) \qquad (2.1.4)$$

Por lo tanto cualquier cálculo hecho para dieléctricos perfectos, puede hacerse para dieléctricos con pérdidas (como es la tierra), remplazando la permi-

tividad ε por la permitividad compleja ε'.

Se debe notar que ε' depende de la frecuencia; a medida que ésta se eleve, el valor de ε' tenderá a ε, lo que significa que a frecuencias elevadas la tierra se comportará como un reflector perfecto.

Para el estudio de propagación, se debe tomar muy en cuenta el comportamiento de la tierra, especialmente en el caso de ondas superficiales y ondas reflejadas.

Es conocido que las características de las ondas reflejadas dependen de la polarización de la onda incidente. Por lo tanto, para la polarización horizontal y vertical se tienen los siguientes valores de coeficiente de reflexión:

Para polarización horizontal:

$$R_h = \frac{\operatorname{Sen}\psi - \sqrt{(\varepsilon_r - jX) - \operatorname{Cos}^2\psi}}{\operatorname{Sen}\psi + \sqrt{(\varepsilon_r - jX) - \operatorname{Cos}^2\psi}} \qquad (2.1.5)$$

Para polarización vertical:

$$R_v = \frac{(\varepsilon_r - jX)\operatorname{Sen}\psi - \sqrt{(\varepsilon_r - jX) - \operatorname{Cos}^2\psi}}{(\varepsilon_r - jX)\operatorname{Sen}\psi + \sqrt{(\varepsilon_r - jX) - \operatorname{Cos}^2\psi}} \qquad (2.1.6)$$

En donde: ψ : ángulo incidente

ε_r: permitividad relativa

$X : \sigma/w\varepsilon_r$

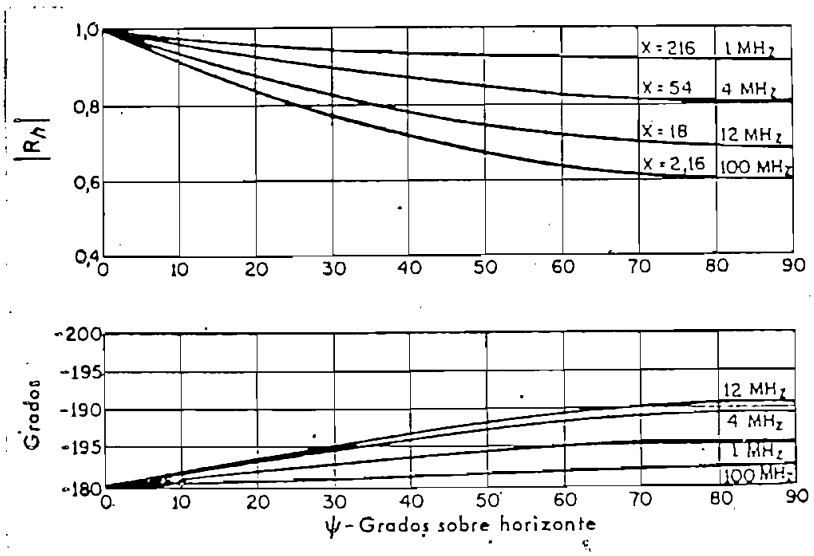
De esto se desprende que el factor de reflexión para las dos polarizaciones es compleja y depende de:

a) Las constantes de la tierra (permitividad y conductividad).

b) La frecuencia usada, y

c) El ángulo incidente ψ del rayo

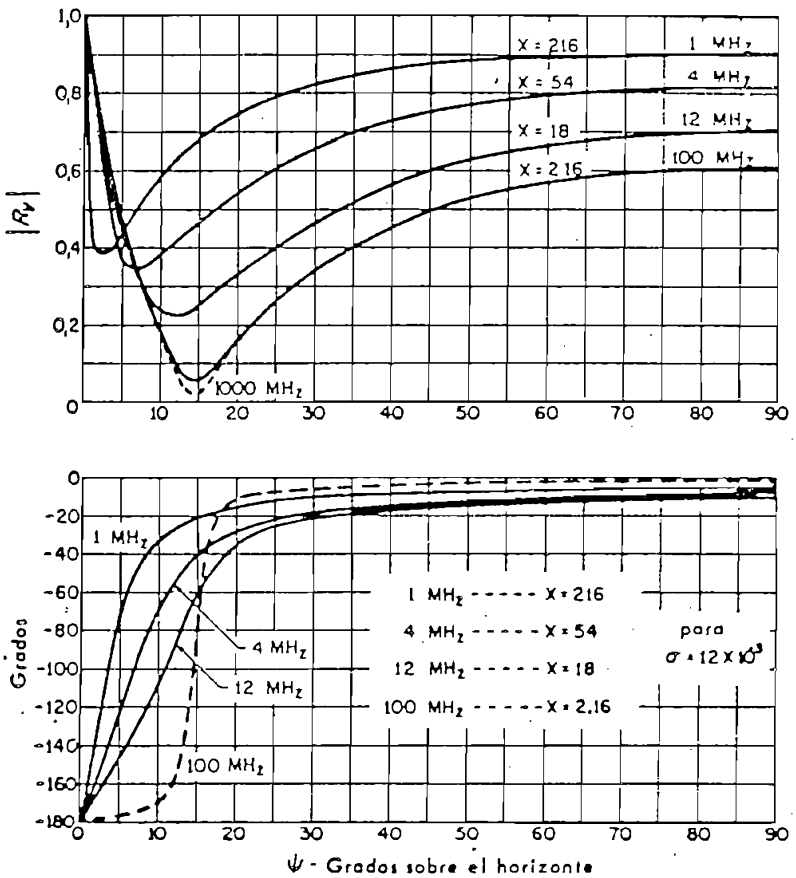
En la *figura 2.1.2* se puede apreciar los valores de la magnitud y de la fase de los coeficientes de reflexión horizontal y vertical para diferentes frecuencias, considerando una tierra buena.



Magnitud

Fase

Magnitud y Fase del coeficiente de reflexión horizontal.



Magnitud

Fase

Magnitud y Fase del coeficiente de reflexión vertical.

FIGURA 2.1.2

Como se puede ver, la exactitud de los coeficientes de reflexión depende de la exactitud de los valores de las constantes de la tierra o de sus mediciones.

Sommerfield, originalmente estableció que era posible dividir la intensidad de campo de la onda terrestre en dos partes, una onda espacial y otra superficial. La onda espacial predomina a gran distancia sobre el suelo, mientras que la onda superficial es mayor cerca del suelo. Según Norton, las expresiones del campo eléctrico sobre la superficie de una tierra plana de conducción finita son de una forma que claramente muestran esta separación en onda espacial y superficial.

Si suponemos como antena transmisora un dipolo $\lambda/2$, Norton afirma que a gran distancia del dipolo, tal que los términos que contienen órdenes superiores de $1/R_1$ y $1/R_2$ pueden despreciarse, reduciéndose las expresiones para un dipolo vertical sobre la tierra plana de conducción finita a:

$$E_z = j30\beta I dl \cos^2\psi \left[\left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_v \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right) + (1-R_v)(1-u^2+u^4\cos^2\psi) F \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right] \quad (2.1.7)$$

$$E_\rho = -j30\beta I dl \; Sen\psi Cos\psi \left[\left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_v \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right) \right.$$

$$\left. - Cos\psi (1 - R_v) \sqrt{1 - u^2 Cos^2\psi}\; F \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \left(1 + \frac{Sen^2\psi}{2} \right) \right] \quad (2.1.8)$$

Donde:

E_z = Componente vertical del campo eléctrico

E_ρ = Componente radial del campo eléctrico en coordenadas cilíndricas.

R_1, R_2 = Distancias mostradas en la *figura (2.1.1.2.2)*, página 2-19.

R_v = Coeficiente de reflexión para polarizacion vertical de una onda plana.

F = Constante de atenuación, que depende de las constantes de la tierra y de la distancia entre las antenas.

dl = Longitud efectiva de la antena (unidad de λ).

$$u^2 = \frac{1}{\varepsilon_r - jX} \quad ; \quad X = \frac{18.10^3 \sigma}{f[MH_z]} \quad ; \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

El examen de las ***ecuaciones (2.1.7)*** y ***(2.1.8)*** muestra que el campo total puede dividirse en dos partes: una onda **espacial**, dada por los términos inversos a la distancia, y una **onda superficial**, que contiene la función F adicional. Combinando *(2.1.7)* y *(2.1.8)*, y separándolas en estos dos tipos de ondas, resulta:

$$E^{\vee}_{total\ esp} = E_{\psi\ (esp)} = \sqrt{E_z^2(esp) + E_\rho^2(esp)}$$

$$= j30\beta I dl \cos\psi \left(\frac{e^{-j\beta R_2}}{R_1} + R_{\vee} \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right)$$

(2.1.9)

$$E^{\vee}_{total\ sup} = j30\beta I dl (1-R_{\vee})\ F \left(\frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right) \cdot$$

$$\sqrt{1-2u^2+(\cos^2\psi)u^2\left(1+\frac{\operatorname{Sen}^2\psi}{2}\right)} \qquad \textit{(2.1.10)}$$

En estas expresiones se ha despreciado u^4 por ser muy pequeño.

2.1.1 Onda Espacial

La expresión de una onda espacial de un dipolo vertical sobre una tierra plana, tal como se da en la *ecuación (2.1.9)*, consta de dos términos. El primer término $e^{-j\beta R_1}/R_1$ representa una onda esférica originada en la posición del dipolo, $e^{-j\beta R_1}$ es el factor de fase (se ha quitado el factor temporal $e^{j\omega t}$) y $1/R_1$ es el factor inverso a la distancia. De un modo similar, el segundo término representa una onda esférica originada en la posición que ocupa la imagen del dipolo. Así, la

parte del campo en onda plana consiste de una onda directa y otra reflejada, conteniendo la expresión de la onda reflejada el factor de reflexión R_v, que se aplicaría si la onda incidente fuera plana. Cuando el dipolo se sitúa alejado de la tierra, la onda incidente es esencialmente una onda plana, y en este caso el campo de la onda espacial es el campo total. Por otra parte, cuando se sitúa el dipolo próximo a tierra la onda incidente no será plana, y la expresión del campo reflejado total debe contener más términos de los dados en el campo de la onda espacial. Estos términos adicionales son precisamente los que cuentan para la onda superficial.

En la *ecuación (2.1.9)* se tiene la expresión para calcular el campo de una onda espacial de un dipolo vertical situado a cualquier altura sobre la tierra de conducción finita con un coeficiente de reflexión R_v. De igual manera, la expresión del campo de una onda espacial para un dipolo horizontal y en el plano perpendicular al eje del dipolo es similar a la del dipolo vertical, salvo que R_v se sustituya por R_h no existiendo el factor $\cos\psi$. Así:

$$E^h_{espacial} = j30\beta Idl\left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_h \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2}\right) \qquad (2.1.1.1)$$

La ausencia del factor Cosψ se debe al hecho de que el dipolo horizontal en si mismo es un radiador uniforme en el plano perpendicular a su propio eje.

En el plano paralelo al eje del dipolo, el campo eléctrico puede expresarse como:

$$E^{h}_{\text{paralelo}} = j30\beta I dl \operatorname{Sen}\psi \left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} - R_{\perp} \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right) \quad (2.1.1.2)$$

En esta expresión, la onda incidente está polarizada en forma paralela al plano de incidencia, y, por consiguiente, hay que utilizar el factor $R_{\perp}$. El signo menos se debe a la dirección asumida como positiva, del campo eléctrico de la onda incidente y de la onda reflejada. Debe notarse que en el plano paralelo al eje del dipolo, el campo eléctrico de un dipolo horizontal está polarizado *"verticalmente"*.

Es de mucha importancia tomar en cuenta la altura de la antena *(en longitudes de onda)* sobre la tierra. En el caso de ondas medias (1000 m - 100 m), no es posible elevar las antenas sobre el suelo, y en este caso, el ángulo incidente es $\psi \approx 0^{o}$; con este ángulo el coeficiente de reflexión para polarización horizontal y vertical es -1, con lo que las ondas directas y reflejadas

se anulan y solo existe contribución de las ondas superficiales.

En frecuencias altas y muy altas, en las que la longitud de onda se hace suficientemente corta, es posible elevar las antenas un cuarto de onda o más, sobre el suelo. Cuando las antenas están elevadas, la onda espacial ya no es cero, y la señal resultante en la antena receptora es la suma vectorial de las ondas espacial y superficial, en este caso,considerando la ecuación **(2.1.7)** y despreciando u^2 y u^4 por ser muy pequeños); la expresión para la componente vertical de la antena receptora es :

$$E_z = j30\beta I d l \cos^2\psi \left[\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_v \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} + (1-R_v) F \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right] \qquad (2.1.1.3)$$

En donde:

- Los términos primero y segundo de esta expresión forman la onda espacial, y
- El tercer término constituye la onda superficial, teniendo el factor de atenuación F.

2.1.1.1 Onda Directa

La onda directa es la que va directamente desde la antena transmisora a la antena receptora, así, en la *ecuación (2.1.1.3)* la onda directa estará expresada por el primer término de la ecuación, en el que no interviene ni el factor de reflexión R_v (para la onda reflejada) ni el factor F (para la onda superficial), quedando:

$$E_x = j30\beta I d l \cos^2\psi \left[\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1}\right]$$

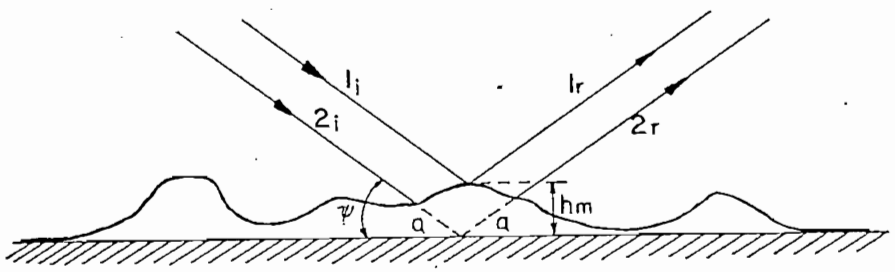
2.1.1.2 Onda Reflejada

De la misma manera que en la onda directa, para la consideración de las ondas reflejadas: De la *ecuación (2.1.1.3)* se ve claramente que el segundo de sus términos contiene el factor R_v (factor de reflexión para polarización vertical).

Los factores de reflexión (para polarización vertical y horizontal) se calculan con las ecuaciones **(2.1.5)** y **(2.1.6)**, las mismas que están deducidas a partir de la suposición de que se trabaja con una tierra plana, pero esto en los casos prácticos no es real. Para suponer a

una tierra plana debemos tomar en cuenta el concepto de rugosidad.

El concepto de rugosidad para el presente propósito, tiene su base en el criterio de RAYLEIGH, desarrollado originalmente para óptica; para esto se hace la siguien te consideración:



Rayos incidentes en una superficie rugosa

FIGURA 2.1.1.2.1

De la ***figura 2.1.1.2.1***: Los rayos 1_i y 2_i inciden con un ángulo ψ sobre una superficie rugosa, que tiene una altura promedio h_m, en comparación con la parte plana de la tierra de la región en cuestión. Entonces, según el criterio de RAYLEIGH, la superficie puede considerarse como rugosa si las irregularidades superficiales son tales como para causar una variación superior a $\lambda/8$ (siendo λ la longitud de onda incidente) entre los caminos 1 y 2.

En la ***figura 2.1.1.2.1*** se puede ver que:

$$\text{Sen}\,\psi = a/h_m \quad ; \quad 2a = 2h_m \text{Sen}\,\psi$$

Siendo 2a la diferencia entre los caminos 1 y 2.

Entonces, del criterio de RAYLEIGH, para una superficie cuya rugosidad está a determinarse:

$$2h_m Sen\psi = \lambda/8$$

De donde: $h_m = \lambda/16Sen\psi$ (2.1.1.2.1

De la ***expresión (2.1.1.2.1)***:

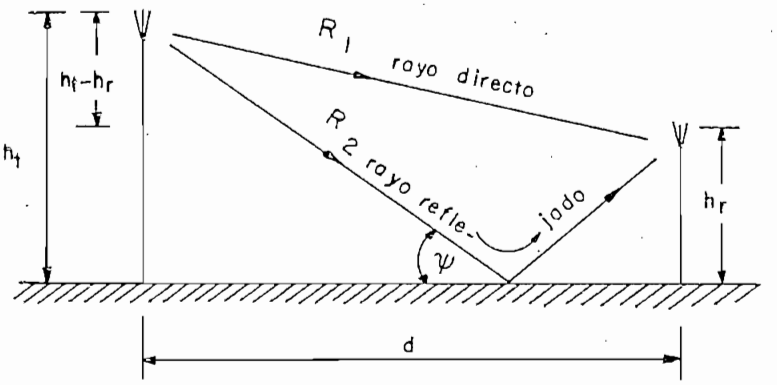
Si: $h_m < (\lambda/16Sen\psi)$ --> la superficie es plana

$h_m > (\lambda/16Sen\psi)$ --> la superficie es rugosa

NOTA:

En la práctica, h_m debe ser menor que el 20% o 30% de $(\lambda/16Sen\psi)$ para que los valores teóricos tengan validez.

Como se verá mas adelante, en frecuencias de VHF, la onda superficial se atenúa rápidamente, entonces la propagación en este rango de frecuencias se realiza principalmente por onda directa y onda reflejada (ondas espaciales). Por este motivo se va a tratar de los efectos de la combinación de los rayos directo y reflejado, para esto consideremos la ***figura 2.1.1.2.2***



Caminos que sigue la onda espacial

FIGURA 2.1.1.2.2

Si nuevamente consideramos a la tierra como "plana", se tiene:

$$R_1 = d\sqrt{1 + \frac{(h_t - h_r)^2}{d^2}}$$

Considerando la expansión binomial, y que $d \gg h_t$ o h_r se puede escribir:

$$R_1 = d\left(1 + \frac{1}{2}\,\frac{(h_t - h_r)^2}{d^2}\right) \qquad (2.1.1.2.2)$$

De igual manera para la onda reflejada:

$$R_2 = d\left(1 + \frac{1}{2}\,\frac{(h_t + h_r)^2}{d^2}\right) \qquad (2.1.1.2.3)$$

Si: $\Delta R = R_2 - R_1$

Entonces: $$\Delta R = \frac{2h_t h_r}{d} \qquad (2.1.1.2.4)$$

Por lo tanto, la diferencia de fase correspondiente, $\emptyset_c$ será:

$$\emptyset_c = \beta . \Delta R = \frac{2\pi}{\lambda} . \frac{2h_t h_r}{\lambda d} = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \qquad (2.1.1.2.5)$$

Para obtener el efecto combinado de las ondas directa y reflejada, se tiene que considerar la suma de los dos valores instantáneos. Si asumimos que el valor instantáneo de la onda directa es:

$$E_{dir} = \hat{E} \operatorname{Sen} W_t$$

Donde: $\hat{E} = \frac{k\sqrt{P}}{d}$ (campo recibido en espacio libre).

P = Potencia radiada

d = Distancia entre el transmisor y el receptor

k = Constante que depende del tipo de antena

Para la onda reflejada se debe considerar el factor de reflexión $|R| \underline{\emptyset_r}$, éste tendrá una diferencia de fase con relación a la onda directa debido a:

a) El coefic. de reflexión sobre la tierra --> ($\emptyset_r$)

b) La diferencia entre los caminos R_1 y R_2 --> $(\emptyset_c)$

De acuerdo con esto, para la onda reflejada se tiene:

$$E_{refl.} = |R|\,\hat{E}\,Sen(W_t - \emptyset_c - \emptyset_r)$$

Por lo tanto, el valor instantáneo de las ondas en el punto receptor, estará dado por:

$$E_{total} = \hat{E}\,\{Sen\,W_t + |R|\,Sen[W_t - (\emptyset_c + \emptyset_r)]\}$$

Como: $\hat{E} = \dfrac{k\sqrt{P}}{d}$

Entonces:

$$E_{total} = \frac{k\sqrt{P}}{d}[1 + |R|^2 + 2|R|\,Cos(\emptyset_c + \emptyset_r)]^{1/2} \qquad (2.1.1.2.5)$$

Esta es la expresión general para la intensidad de campo en el receptor por la presencia de la onda directa y reflejada.

En la ***ecuación (2.1.1.2.5)*** se nota que el campo eléctrico pasa por un máximo cuando:

$$Cos(\emptyset_c + \emptyset_r) = 1 \quad ; \quad o, \quad (\emptyset_c + \emptyset_r) = 2n\pi$$

Y por un mínimo cuando:

$$Cos(\emptyset_c + \emptyset_r) = -1 \quad ; \quad o, \quad (\emptyset_c + \emptyset_r) = (2n + 1)\pi$$

En donde: $n = 0, 1, 2, 3.....$

Entonces, la intensidad de campo, tanto para un máximo como para un mínimo será:

$$E_{total} = \frac{k\sqrt{P}}{d}(1 \mp |R|)$$

Si suponemos $d \gg h_t$ o h_r, entonces, para el coeficiente de reflexión podemos escribir:

$$R = 1 \angle 180^{o}$$

Con esta condición, la ***ecuación (2.1.1.2.5)*** se transformaría en:

$$E_{total} = \frac{k\sqrt{P}}{d}\,[1+1+2\cos(180^{o}+\emptyset_c)]^{1/2}$$

$$= \frac{k\sqrt{P}}{d}\,[2(2\mathrm{Sen}^{2}\,\emptyset_c/2)]^{1/2}$$

$$= \frac{k\sqrt{P}}{d}\,2\mathrm{Sen}\,\frac{\emptyset_c}{2}$$

Si consideramos la ***ecuación (2.1.1.2.4)*** nos queda:

$$E_{total} = \frac{2k\sqrt{P}}{d}\,\mathrm{Sen}\left(\frac{4\pi h_t h_r}{2\lambda d}\right)$$

$$E_{total} = \frac{2k\sqrt{P}}{d}\,\mathrm{Sen}\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right) \quad \textbf{(2.1.1.2.6)}$$

En esta ecuación se nota principalmente:

a) La intensidad de campo pasa por máximos o mínimos dependiendo del argumento del Seno. (Puede ser cero si una de las alturas de las antenas es cero).

b) Aún si se mantuvieran constantes h_t, h_r y λ, habrían máximos y mínimos a diferentes distancias.

En el caso de tener distancias muy grandes comparadas con las alturas de las antenas, la diferencia de fase ($\emptyset_c$) será muy pequeña por lo que la ***ecuación (2.1.1.2.6)*** se reduce a:

$$E_{total} = \frac{k\sqrt{P}}{d} \cdot \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \qquad (2.1.1.2.7)$$

Que es una fórmula muy utilizada para propópositos prácticos.

D I F R A C C I O N

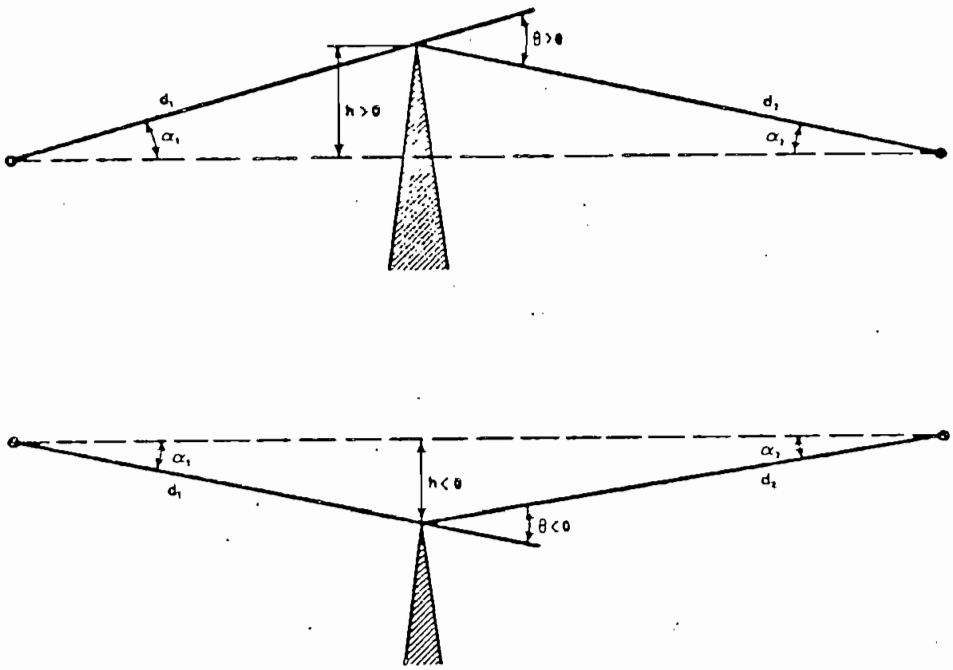
Cuando en un trayecto de propagación existen uno o varios obstáculos, no podemos hablar de ondas reflejadas sino de ondas difractadas, ya que existe en los obstáculos una difracción que hace que las señales lleguen a lugares que deberían ser de sombra radioeléctrica.

Para poder hacer el cálculo de la atenuación que producen los obstáculos, hay que idealizar la forma de los obstáculos, considerándolos como aristas de grosor despreciable o como arista gruesa y lisa cuyo radio de curvatura está bien definido.

Aunque la difracción es causada únicamente por la superficie del suelo, para evaluar los parámetros geométricos situados en el plano vertical del trayecto (ángulo de difracción, radio de curvatura, altura del obstáculo) ha de tenerse en cuenta la refración media de la atmósfera en el trayecto. Para ello se traza el perfil del trayecto (punto 2.2) con un radio efectivo conveniente de la tierra.

Considerando:

1.- Obstáculo aislado en arista aguda.



Difracción.- En un obstáculo aislado de arista aguda

FIGURA I (DIFRACCION)

En este caso extremadamente idealizado *figura I (DIFRACCION)*, todos los parámetros geométricos se agrupan en un solo parámetro sin dimensión que normalmente se designa por v y que puede tomar diferentes formas equivalentes según los parámetros geométricos elegidos:

FACULTAD DE INGENIERIA
BIBLIOTECA
2936
E.P.N.

$$v = h\sqrt{\frac{2}{\lambda}\left(\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}\right)}$$

$$v = \theta\sqrt{\frac{2}{\lambda\left(\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}\right)}} \qquad (a)$$

$$v = \sqrt{\frac{2h\theta}{\lambda}}$$

v tiene el mismo signo que h y θ

$$v = \sqrt{\frac{2d}{\lambda}\cdot\alpha_1\alpha_2}$$

v tiene el mismo signo que α_1 y α_2

Donde:

h = Altura de la cima de la arista sobre la recta que une los dos extremos del trayecto. Si la cima queda por debajo de esa linea, h es negativa

d_1, d_2 = Distancias desde los extremos del trayecto a la arista.

d = Longitud del trayecto: d_1+d_2

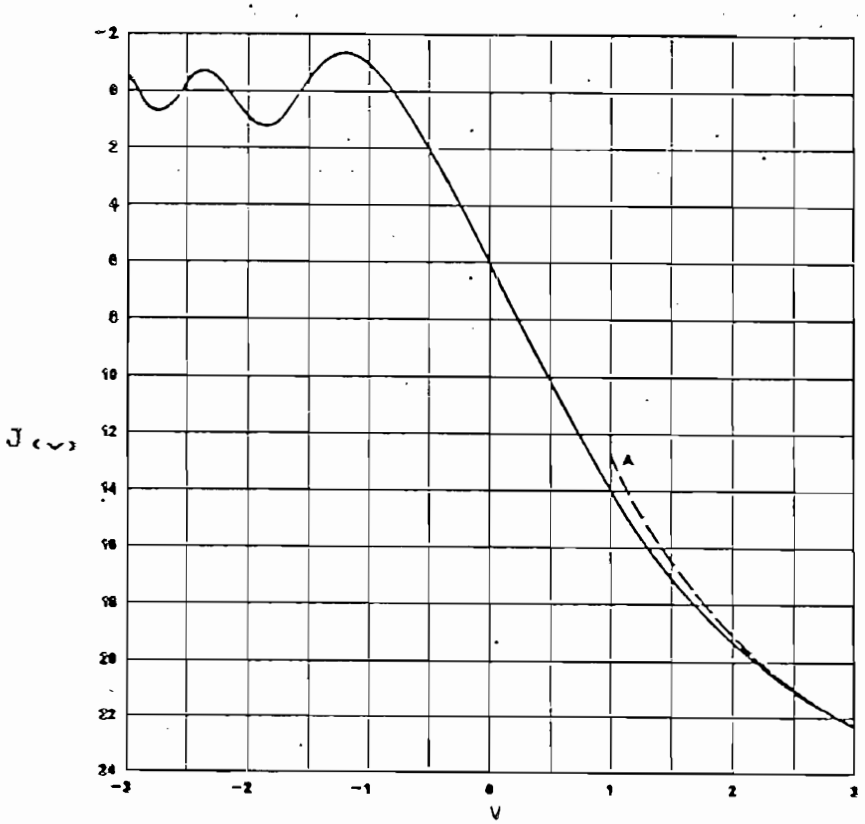
θ = Angulo de difracción, en radianes; tiene el mismo signo que h. Se supone que el ángulo θ es inferior a 0.2 radianes, o sea, aproximadamente 12°.

α_1, α_2 = Angulos bajo los que, a partir de un extremo, se ve la cima de la arista y el extremo opuesto; tienen el mismo signo que h en las anteriores relaciones; h, d_1, d_2, d y λ se expresan en la misma unidad.

La *figura II (DIFRACCION)* dá la pérdida, en dB, causada por la arista, en función de v. Para v mas positiva que -1, un valor aproximado puede obtenerse de la expresión:

$$J(v) = 6.4+20 \log(\sqrt{v+1} + v) dB$$

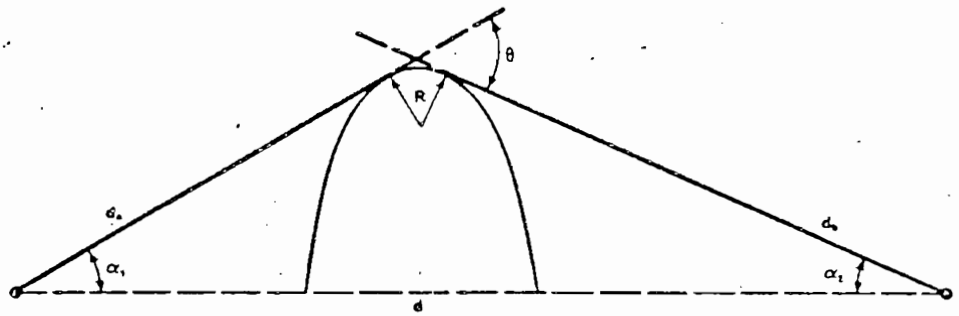
El error es inferior a 0.5dB.



Curva A.- Asíntota: $J(v)=13+20 \log v$

FIGURA II (DIFRACCION)

2.- Obstáculo único de forma redondeada



Difración.- Obstáculo único de forma redondeada

FIGURA III (DIFRACCION)

Si el trayecto de propagación no comprende más que un accidente del terreno -horizonte para ambos extremos- a menudo se le puede considerar como si hubiese entre estos últimos una arista redondeada y única que provocará la difracción (como se ve en la ***figura III (DIFRACCION)***). Para $\theta > 0$, la atenuación de difracción A, en dB, que ha de sumarse a la correspondiente al espacio libre, puede expresarse por:

$$A = J(\nu) + T(\rho) + Q(X) \qquad \textbf{(b)}$$

a) La atenuación $J(\nu)$ de FRESNEL-KIRCHHOFF se presenta en la ***figura II (DIFRACCION)*** en función del parámetro sin dimensión:

$$v = 2\mathrm{Sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)\left[\frac{2(d_a+R.\theta/2)(d_b+R.\theta/2)}{\lambda\ .d}\right]^{1/2}$$

Donde es la longitud de onda, y d_a y d_b, las distancias respectivas entre los puntos terminales y sus horizontes sobre la elevación del terreno. R es el radio de curvatura efectivo del accidente del terreno situado entre los horizontes y que viene dado por el producto del radio geométrico y del factor multiplicador K (factor del radio efectivo de la tierra - ver Onda Troposférica). Las distancias y longitudes se expresan en las mismas unidades. Para R=0, la expresión anterior se reduce a la expresión **(a)**.

b) La atenuación $T(\rho)$ para incidencia en la superficie redondeada viene dada por *DOUGHERTY y WILKERSON*, 1967)

$$T(\rho) = 7.2\rho - 2\rho^2 + 3.6\rho^3 - 0.8\rho^4$$

Donde: ρ se obtiene por:

$$\rho^2 = \frac{d_a+d_b}{d_a+d_b} \Big/ \left[\left(\frac{R}{\lambda}\right)^{1/3}\frac{1}{R}\right]$$

c) $A(X)$, atenuación para la propagación a lo largo de la superficie entre los dos horizontes, se expresa por:

$$G(X)\begin{cases} T(\rho).X/ & \text{para } -\rho \ll X < 0 \\ 12.5X & \text{para } 0 \ll X < 4 \\ 17X-6-20\log X & \text{para } X \gg 4 \end{cases}$$

$$X = \left(\frac{\pi R}{\lambda}\right)^{1/3}.\theta \approx \sqrt{\frac{\pi}{2}}.v.\rho \qquad \text{si } \theta \ll 1$$

Para R=0, ρ y X se anulan y la expresión (b) se reduce a su primer término. Para $\theta=0$, $X=0$; (b) representa entonces la atenuación para incidencia rasante en la arista aguda o en el obstáculo de forma redondeada.

2.1.2 Onda Superficial

Las expresiones del campo eléctrico de un dipolo vertical sobre un plano de tierra, finitamente conductora, están dadas en las ecuaciones (2.1.7) y (2.1.8). Cuando el dipolo está en la superficie de la tierra, la expresión de la parte representativa de la onda superficial de este campo se reduce a:

$$E_{superficial} = j30\beta Idl(1-Rv)\ F\left(\frac{e^{-j\beta R}}{R}\right).$$

$$[\hat{k}(1-u^2)+\hat{r}Cos\gamma(1+\frac{Sen^2\gamma}{2})u\sqrt{1-u^2Cos^2\gamma}] \qquad (2.1.2.1)$$

Donde:

R = Distancia desde el dipolo hasta el punto en que se considera el campo ($R>>\lambda$).

$\hat{k}$ y $\hat{r}$ = Vectores unitarios paralelo y perpendicular respectivamente, al dipolo vertical. También:

$$F = \left\{1-j\sqrt{\pi w}\, e^{-w}\ [\mathrm{erfc}(j\sqrt{w})]\right\}$$

$$w = \frac{-j\beta R u^2(1-u^2\mathrm{Cos}^2\psi)}{2}\left[1+\frac{\mathrm{Sen}\,\psi}{u\sqrt{1-u^2\mathrm{Cos}^2\psi}}\right]^2$$

$$u^2 = \frac{1}{\epsilon_r - jX}$$

$$X = \frac{18.10^3\sigma}{f[\mathrm{MHz}]}$$

$$\mathrm{erfc}(j\sqrt{w}) = \frac{2}{\sqrt{w}}\int_{j\sqrt{w}}^{\infty} e^{-v^2}\,dv$$

La función F introduce una atenuación que depende de la distancia, frecuencia y constantes de la tierra a lo largo de su propagación. Para distancias del orden de unas pocas longitudes de onda del dipolo, F tiene un valor casi igual a la unidad, tendiendo a ella al tender R a 0. Haciendo F=1 en la **ecuacion (2.1.2.1)**, es posible valorar y trazar la curva de la **figura 2.1.2.1**, a la que se le denomina "onda superficial no atenuada", que está dada para dos valores del parámetro **n**. En bajas

frecuencias y con buena conductividad de tierra (n=100) la onda superficial no atenuada es muy pequeña, excepto para ángulos que la hacen casi rasante (ψ=0°). Para ψ=0° tiene el valor de 2. Para este mismo ángulo la onda espacial es siempre cero, porque las ondas directa y reflejada en el suelo se anulan entre si. En frecuencias superiores y conductividades inferiores (n=1), la onda superficial no atenuada tiene un valor de 2 para ψ=0°, pero también tiene un valor apreciable para ángulos elevados. Sin embargo, esta onda se atenúa rápidamente con la distancia a causa del factor F.

En la superficie de la tierra (ψ=0°), el valor absoluto de F ha sido valorado y se denomina *"factor de atenuación de la onda de tierra"*. Se designa por el simbolo A. Entonces para ψ=0°:

$$A = |F|$$

$$A = \left|1-j\sqrt{\pi w}\, e^{-w}\, \mathrm{erfc}(j\sqrt{w})\right|_{\psi=0}$$

$$A = \left|1-j\sqrt{\pi P_1}\, e^{-P_1}\, \mathrm{erfc}(j\sqrt{P_1})\right| \qquad 2.1.2.2$$

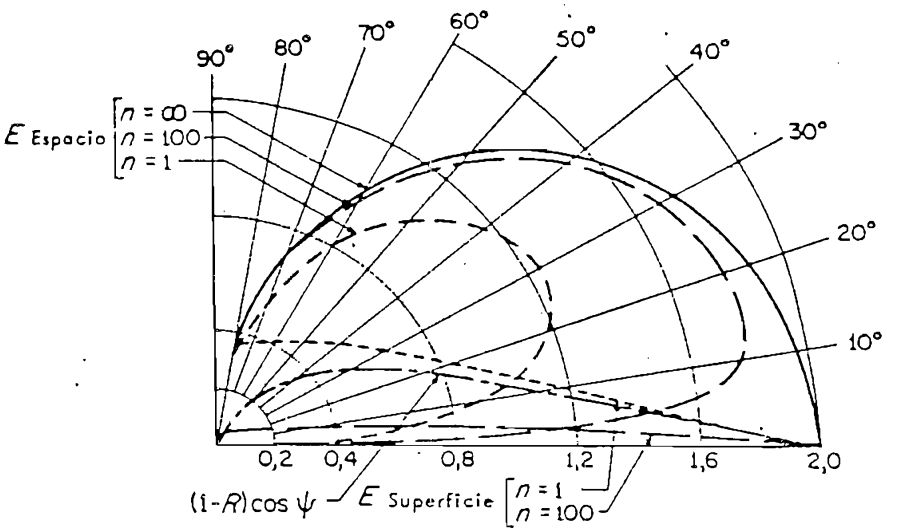


Diagrama de radiación vertical de un dipolo vertical en la superficie de una tierra de conducción finita. El parámetro $n=X/\varepsilon_r$ y el valor $\varepsilon_r=15$ son los empleados.

FIGURA 2.1.2.1

P_1 es el valor de w para el ángulo $\psi=0°$. En general es una cantidad compleja que puede escribirse como:

$$w|_{\psi=0} = P_1 = Pe^{jb}$$

Donde:

P = Distancia numérica, y

b = Constantes de fase.

Valorando w para $\psi=0°$:

$$P = \frac{\pi R}{\pi \lambda} \cdot \frac{Cos^2 b''}{Cos\ b'} \quad \frac{\pi R}{\lambda x} Cos\ b$$

$$b = (2b'' - b')\ tg^{-1} \frac{\varepsilon_r + 1}{x}$$

Donde:

$$b'' = tg^{-1} \frac{\varepsilon_r}{x}$$

$$b' = tg^{-1} \frac{\varepsilon_r - Cos^2}{x} \quad tg^{-1} \frac{\varepsilon_r - 1}{x}$$

$$x = \frac{18.10^3 \sigma}{f[MHz]}$$

En los cálculos prácticos se determina la atenuación de una onda polarizada horizontalmente a lo largo de la superficie terrestre empleando el mismo factor de atenuación A de la onda terrestre de polarización vertical. Sin embargo, en este caso, la distancia numérica P y factor de fase **b** están dados por:

$$P = \frac{\pi R}{\lambda} \cdot \frac{x}{Cosb'}$$

$b = 180^{o} - b'$

En donde x y b' tienen los valores indicados anteriormente.

Para una distancia real dada R, la distancia numérica P es mayor para una polarización horizontal que para una vertical. esto significa una mayor atenuación para una onda superficial polarizada horizontalmente que para una verticalmente polarizada. En frecuencias bajas y medias, en las que x es grande, esta diferencia de atenuaciones es muy grande, y solo las ondas superficiales verticalmente polarizadas son las que se consideran. En frecuencias altas y muy altas (HF y VHF) la atenuación de la onda superficial es muy grande en ambas polarizaciones, por lo que la propagación de la onda superficial está limitada a distancias muy cortas. Sin embargo, en este margen de frecuencias se emplean antenas elevadas y las trayectorias de propagación corresponden a la onda espacial.

NOTA

Debe considerarse que todas las expresiones teóricas vistas anteriormente solo pueden utilizarse para superficies planas, y, para el efecto, la tierra puede considerarse como tal hasta una distancia R:

$$R = \frac{10^4}{\sqrt{f\ [Hz]}} \quad [Km]$$

2.2 Onda troposférica

En las seciones anteriores se han considerado las ondas terrestres, espaciales y superficiales, aunque en el estricto sentido de la palabra estas pueden ser también consideradas como troposféricas, por estar dentro de la tropósfera, y por lo mismo, sufrir de una u otra manera las influencias de las características de esta zona.

En realidad, el rango entero de frecuencias, sufrirá igual influencia de la tropósfera, pero los efectos son pronunciados a frecuencias de VHF o mayores.

Se considera como tropósfera a la región de la atmósfera adyacente a la tierra y que se extiende hasta unos 10 Km de altura. es en esta región donde se forman las nubes. La temperatura de la tropósfera disminuye con la altura al ritmo de unos 6.5° c por kilómetro hasta un valor de unos -50° c como límite superior. puede existir la propagación de ondas, mas allá de la línea visual dentro de la tropósfera debido a distintos mecanismos, que pueden clasificarse como: Difracción, refracción normal, reflexión y refracción anormales, y dispersión troposférica.

R E F R A C C I O N

La propagación de las ondas de radio depende, primordialmente, del índice de refracción **n**, el cual es una función de algunos parámetros (presión atmosférica, temperatura, presión parcial del vapor de agua).

La expresión general para el índice de refracción **n** de la atmósfera, está dada por:

$$(n-1).10^6 = \frac{77.6}{T}\left[P + \frac{4810e}{T}\right] \qquad (2.2.1)$$

Donde

n = Indice de refracción

T = Temperatura [°K]

P = Presión atmosférica [mb]

e = Presión parcial de vapor de agua [mb]

En general, los valores del índice de refracción **n** son ligeramente superiores a 1 por lo que es muy difícil su manipulación, es por esto que se ha aceptado la expresión del *"valor de refracción"* **N** definido por:

$$N = (n-1).10^6 \qquad (2.2.2)$$

Con esta expresión, la manipulación del índice de re

fracción se vuelve más sencilla. El valor de refracción N puede encontrarse entre entre 300 y 400 unidades al nivel del mar, dependiendo de su posición geográfica.

En la práctica, el parámetro mas importante no es solamente el índice de refracción n (o el valor de refracción N), sino su variación con la altura, es decir, el gradiente de n con respecto a la altura h, o dn/dh. Debido a que el índice de refracción varía en forma considerable según la estación del año y/o según la posición geográfica, se ha sugerido el concepto de una atmósfera STANDARD que está definida por:

$$n(h) = 1+289.10^{-6} \cdot e^{-0.136h} \qquad (2.2.3)$$

En donde h está en kilómetros.

Evaluando la expresión (2.2.3) para h=0 tenemos que:

$$N = (n-1).10^{6} = 289 \text{ unidades}$$

De donde podemos escribir:

$$N = 289 \cdot e^{-0.136h}$$

Derivando y evaluando para h=0:

$$dN/dH = -0.136 \cdot 289 = -39 \text{ N-unidad/Km} \qquad (2.2.4)$$

o: $dn/dh = (dN/dh) \cdot 10^{-6} = -39 \cdot 10^{-6} (1/Km)$ (2.2.5)

Esto nos dice que en cualquier región de la tierra donde dN/dh = -39 unidades, la atmósfera puede considerarse como STANDARD.

En el caso de la propagación de las ondas de radio a través de la tropósfera, tenemos un ambiente donde el índice de refracción varía, casi en forma gradual, con la altura desde el nivel del mar. Aunque esta variación de n es muy pequeña, el frente de ondas sufre un cambio en la dirección de propagación (generalmente hacia la tierra) debido a la distancia que la onda viaja entre dos puntos de un sistema práctico de comunicaciones.

Considérese una onda, en la tropósfera, con su trayectoria curvada, por la variación del índice de refracción con la altura. Si T es el radio de la curvatura de la tierra, y v, la velocidad de la onda a esta altura, entonces, de la ***figura 2.2.1***, se puede escribir:

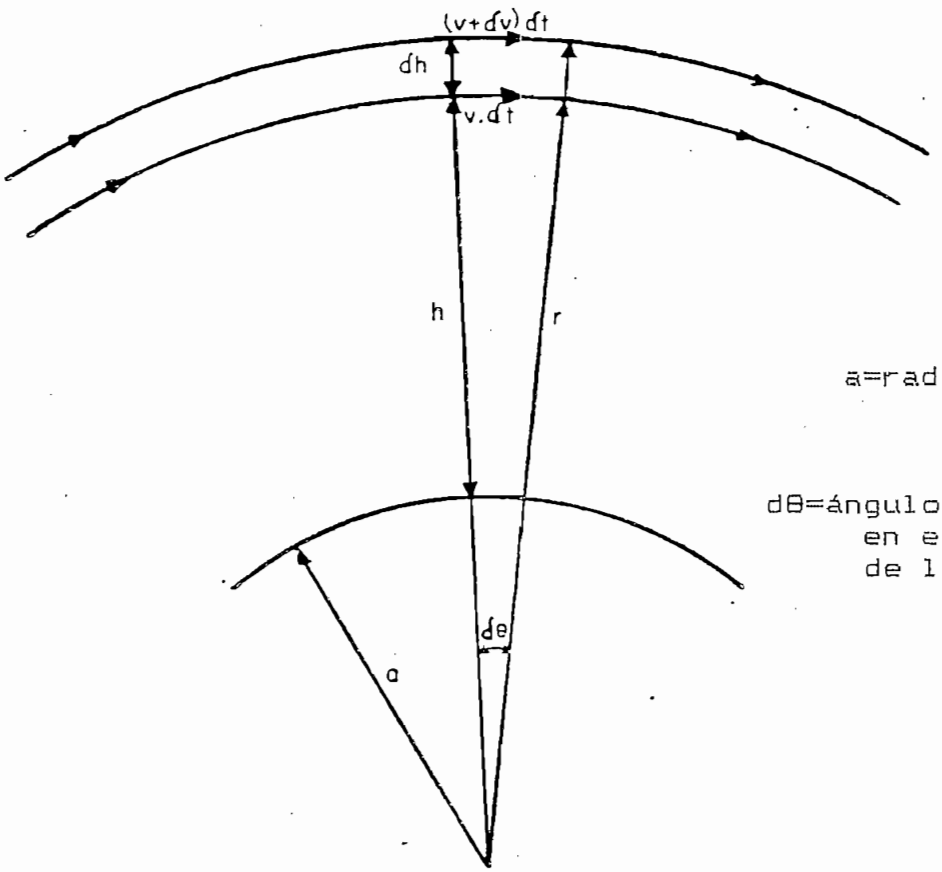
$$r d\theta = v dt \text{ (considerando } d\theta \text{ pequeño)} \qquad (2.2.6)$$

Y a una altura ligeramente elevada tendremos:

$$(r+dh)d\theta = (v+dv)dt \qquad (2.2.7)$$

Así: $$dh\,d\theta = dv.dt \qquad (2.2.8)$$

o: $$d\theta/dt = dv/dh \qquad (2.2.9)$$



a=radio de la tierra

dθ=ángulo formado en el centro de la tierra

Trayectoria curvada de una onda
FIGURA 2.2.1

Si el índice de refracción a una altura h es n, la velocidad de la onda, a esta altura, será:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{c}{n} \qquad (2.2.10)$$

Y como n es función de la altura:

$$\frac{dv}{dh} = -\frac{c}{n^2} \cdot \frac{dn}{dh} \qquad (2.2.11)$$

$$= -\frac{v}{n} \cdot \frac{dn}{dh}$$

$$\approx -v\frac{dn}{dh} \quad \text{(considerando } n \approx 1\text{)} \qquad (2.2.12)$$

De lo anterior:

$$r = \frac{v}{(d\theta/dt)} = \frac{v}{(dv/dh)} \qquad (2.2.13)$$

Por lo tanto, de (2.2.12):

$$r = \frac{-1}{(dn/dh)} \qquad (2.2.14)$$

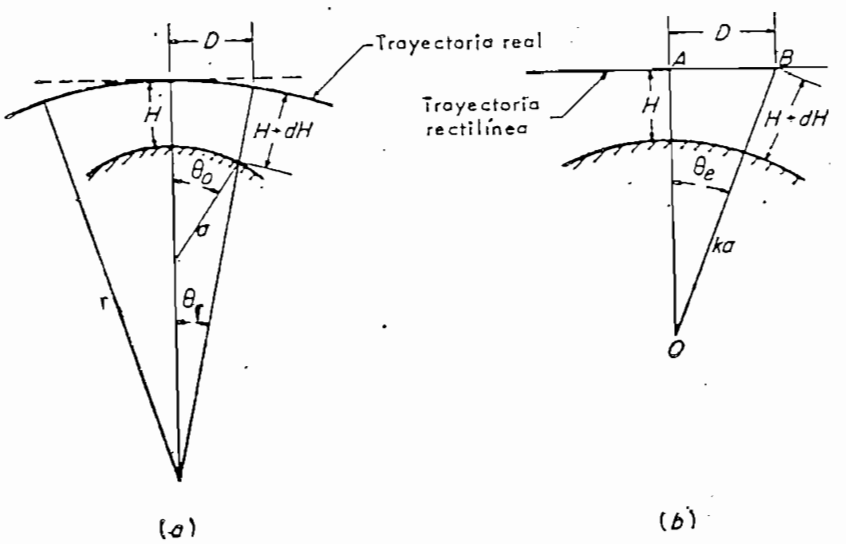
De (2.2.14) puede afirmarse que el radio de la trayectoria depende exclusivamente de la gradiente del índice de refracción **n** con la altura.

FACTOR DE MODIFICACION DEL RADIO DE LA TIERRA (K)

Debido a la molestia que causa en la práctica, conside-

rar las curvaturas, tanto de la tierra como de la trayectoria del frente de onda, se acostumbra usar un factor K en base de dn/dh para modificar el radio de la tierra, y poder considerar la trayectoria del frente de onda como una linea recta.

Para el estudio del factor K de modificación del radio de la tierra, consideremos las *figuras 2.2.2a* y *2.2.2b*. En la primera, se muestra la trayectoria real de un rayo sobre una tierra de radio a.



Trayectoria de propagación

FIGURA 2.2.2

Para que la trayectoria rectilinea de la *figura 2.2.2b* sea equivalente a la indicada en la *figura 2.2.2a* es necesario que el cambio de altura sea el mismo en ambos

casos para la misma distancia horizontal D.. En la *figura 2.2.2b*:

$$dH = BO-AO = (ka+H) \cdot \left(\frac{1}{\text{Cos } \theta e} - 1\right)$$

Aproximando para ángulos pequeños:

$$\frac{1}{\text{Cos } \theta e} \approx \frac{1}{1-(\theta^2 e/2)} \approx 1+ \frac{\theta^2 e}{2}$$

Entonces:

$$dH = \frac{ka\theta^2 e}{2} \qquad \text{(cuando } ka >> H\text{)}$$

Pero: $$\theta e \approx \text{Sen } \theta e = \frac{D}{(ka+H)} \approx \frac{D}{ka}$$

Por tanto:

$$dH \approx \frac{D^2}{2ka} \qquad (2.2.15)$$

En la *figura 2.2.2a*:

$$dH = \frac{D^2}{2a} - \frac{D^2}{2r} \qquad (2.2.16)$$

Entonces: $$\frac{1}{ka} = \frac{1}{a} - \frac{1}{r} \qquad (2.2.17)$$

Así, el radio efectivo de la tierra será:

$$ka = a\left(\frac{1}{1 - \frac{a}{r}}\right)$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{1}{1 - \frac{a}{r}} \qquad (2.2.18)$$

Utilizando (2.2.14) en (2.2.18):

$$k = \frac{1}{1 + a\frac{dn}{dh}} \qquad (2.2.19)$$

En donde:

k = Factor de modificación del radio de la tierra.

a = Radio verdadero de la tierra (6370 Km).

dn/dh = Gradiente del índice de refracción con la altura.

Si multiplicamos **k** por **a** obtendremos un radio de la tierra modificado (ficticio) con el que podemos considerar a cualquier trayectoria de un frente de ondas como una linea recta. Si se quiere saber cual sería el valor de **k** para una atmósfera STANDARD, recordemos la ecuaciones **(2.2.4)** y **(2.2.5)**.

Si consideramos:

$$\frac{1}{4a} = \frac{1}{4 \times 6370 \times 10^3} = 39.2 \cdot 10^{-6}\ [Km^{-1}] \qquad (2.2.20)$$

Se ve que las ecuaciones **(2.2.4)** y **(2.2.5)** tienen resultados numéricamente iguales a la anterior, con lo que se define a **dn/dh** para la atmósfera STANDARD:

De las ecuaciones (2.2.19) y (2.2.20):

$$k(\text{atmósfera standard}) = \frac{1}{1 + \dfrac{a}{1/(dn/dh)}}$$

$$= \frac{1}{1 - \dfrac{a}{4a}} = \frac{4}{3}$$

$$k(\text{atmósfera standard}) = 4/3 \qquad (2.2.21)$$

Por lo tanto para una ATMOSFERA STANDARD k = 4/3 con lo que el radio efectivo de la tierra para la misma atmósfera resulta:

$$a' = k.a = \frac{4}{3} \cdot 6370 \ [Km]$$

$$= 8500 \ [Km] \qquad (2.2.22)$$

En donde:

a' = Radio efectivo de la tierra (ficticio).

k = Factor de modificación del radio de la tierra.

a = Radio verdadero de la tierra.

Esta variación del radio de la tierra, debida a la refracción sufrida por las ondas, tiene como consecuencia

la ampliación del alcance de una onda (radio horizonte). De esta manera la distancia al horizonte está dada por:

$$d(\text{horiz.}) = 3.57\sqrt{k} \cdot (\sqrt{ht} + \sqrt{hr}) \qquad (2.2.23)$$

En donde:

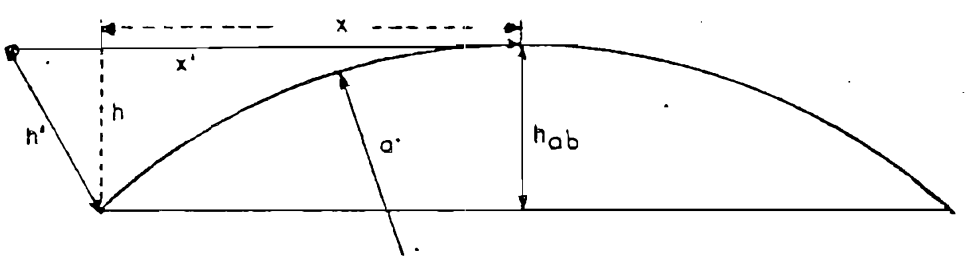
d = Distancia al horizonte [Km]

ht = Altura de la antena transmisora [m]

hr = Altura de la antena receptora [m]

Abultamiento de la tierra

El primer paso para cualquier cálculo de propagación es el dibujo de la trayectoria del rayo, y para poder tomar a esta trayectoria como rectilinea, debemos tomar en cuenta la modificación de la curvatura de la tierra por el factor k. Para esto consideremos la *figura 2.2.3.*



Abultamiento de la tierra: h_{ab}

a' = k.a

a' = *radio efectivo de la tierra*

FIGURA 2.2.3

En la *figura 2.2.3*, h_{ab} es el abultamiento de la tierra. La distancia total entre las extremidades del segmento es 2x, h' es la linea vertical desde la superficie de la tierra en una de las extremidades, y x' es la distancia a esta linea desde el punto central del segmento.

En la práctica: h o $h' \ll x$

Entonces: $x = x'$

Por lo tanto, de la *figura 2.2.3*:

$$a'^2 + x^2 = (a' + h)^2$$
$$= a'^2 + h^2 + 2a'h$$

Considerando $h \ll a'$:

$$x^2 = 2a'.h \qquad (2.2.24)$$

$$h = \frac{x^2}{2a'} \qquad (2.2.25)$$

Si consideramos la *figura 2.2.4* y la *ecuación (2.2.25)*, tenemos:

$$h_{ab} = \frac{(d/2)^2 - d'^2}{2ka} \cdot 10^3 \qquad (2.2.26)$$

En donde:

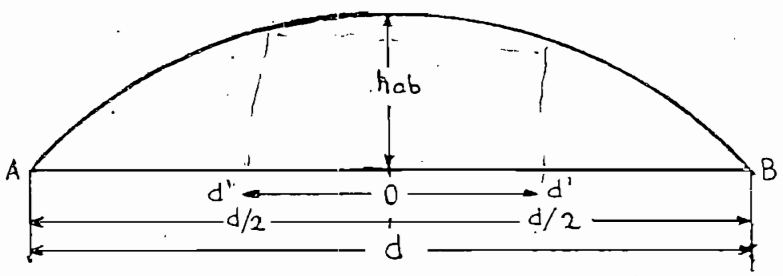
h_{ab} = Abultamiento de la superficie de la tierra a una distancia **d** desde el punto central de la linea AB, en metros.

d = Distancia entre A y B en Km.

d' = Distancia desde el punto central de la linea AB hacia A o hacia B, en Km.

k = Factor del radio efectivo de la tierra.

a = Radio verdadero de la tierra en Km.



Abultamiento de la tierra en un punto dado del trayecto

FIGURA 2.2.4

El máximo abultamiento será en el punto central (d'=0). Si hacemos el cálculo de este abultamiento con k=4/3 y a=6370 Km, se tiene:

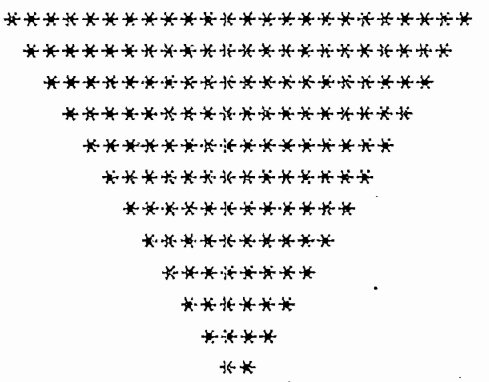
$$h_{ab} = \frac{(d/2)^2}{\frac{8}{3}a} \cdot 10^3$$

$$h_{ab} = \frac{3}{32} \cdot \frac{d}{a} \qquad (2.2.27)$$

En donde, los parámetros ya han sido definidos con sus dimensiones, anteriormente.

Perfil del trayecto

Después de haber determinado el abultamiento de la tierra mediante el radio efectivo de la misma, se puede dibujar sobre la curva de la tierra (con el radio efectivo) y a una escala apropiada las diferentes alturas (tomadas de un mapa topográfico) desde el transmisor hasta el receptor para poder establecerr un perfil topográfico del trayecto que será en este caso una linea recta.



C A P I T U L O I I I

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

3.1 Potencia de transmisión

3.2 Ganancias

3.2.1 Ganancia de Antena Transmisora

3.2.2 Ganancia de Antena Receptora

3.2.3 Ganancia por Altura de Antenas

3.3 Pérdidas

3.3.1 Pérdidas en el diplexer del Transmisor

3.3.2 Pérdidas en líneas de alimentación de antenas y acoplamientos

3.3.3 Pérdidas en el Trayecto de propagación

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

Para poder establecer el nivel de señal que se va a tener en un punto a una distancia dada desde un transmisor, es necesario conocer ciertos parámetros, como son: La potencia del transmisor, las ganancias y las pérdidas existentes en el circuito radioeléctrico.

Es de vital importancia conocer en primer lugar la potencia de salida del transmisor para establecer la potencia efectiva radiada (o potencia radiada aparente) por la antena y que estaría dada por:

$$Per = P + G - L \quad [dB]$$

Donde:

Per = Potencia efectiva radiada [dB]

G = Ganancia de antena transmisora [dB]

L = Pérdidas existentes entre la salida del transmisor y la entrada a la antena transmisora (cables, acoplamientos, filtros) [dB]

Una vez conocida la potencia efectiva radiada, es necesario determinar el valor de la atenuación que tendrá la onda electromagnética en el trayecto de propagación (L_A). Este es el objetivo del presente estudio, por lo

tanto en este capítulo se dan los valores de los parámetros usados para poder determinar las atenuaciones en el trayecto de propagación.

3.1 Potencia de transmisión

En cualquier cálculo de propagación, el parámetro del que se parte o el buscado, es la potencia de transmisión.

Es de mucha utilidad el concepto de potencia efectiva radiada (Per) que es el producto de la potencia de salida del transmisor por la ganancia de antena en una dirección dada, menos las pérdidas existentes en el camino entre el transmisor y la antena (en caso de TV estas pérdidas están en: diplexer, acopladores y alimentador). Por lo tanto es necesario primeramente establecer la potencia de salida del transmisor, para esto existen dos métodos: directo e indirecto.

Método directo

La potencia de operación, de un transmisor de video puede ser determinada en los términos de salida del transmisor, lo que incluye cualquier banda vestigial y

armónicas filtradas que pueden ser usadas durante una operación normal. Para su determinación, la potencia media a la salida puede ser medida durante la operación con una carga fantasma de reactancia substancialmente cero y de resistencia igual a la impedancia característica de la línea de transmisión. Durante esta medición, el transmisor puede ser modulado solo por una señal standard de sincronismo con una posición de nivel de bloqueo al 75% del pico de amplitud observado en un monitor de salida y con la amplitud del nivel de bloqueo mantenida a través del tiempo en el intervalo entre los pulsos de sincronismo. La potencia pico de salida será la potencia medida de esta manera, con una carga fantasma, multiplicada por el factor 1.68 *(FCC RULES AND REGULATIONS 73.689)*.

Método indirecto

Usando el método indirecto, la potencia de operación es el producto del voltaje de placa (Ep) y la corriente de placa (Ip) de la última etapa de amplificación, y el factor de eficiencia F como sigue:

$$\text{Potencia de operación} = Ep \times Ip \times F$$

Para cálculos de intensidad de campo, se usa la potencia pico de video, que para los transmisores de televisión ubicados en el Pichincha se ha obtenido mediante el método directo dando como resultado las potencias

indicadas en la *tabla 3.1.1*

Canales / Potencia Pico Video	2	4	8	10	13
(W)	756	3360	7560	1344	1008
(dBw)	28.79	35.26	38.79	31.28	30.00

Tabla 3.1.1

3.2 Ganancias

En cualquier sistema de comunicaciones se tiene que la potencia de la señal recibida es igual a la potencia transmitida más las ganancias existentes en el camino recorrido por esa señal y menos las pérdidas que hay en dicho camino.

Principalmente, en un sistema de comunicaciones se habla de ganancia de antenas (trasmisora y receptora

3.2.1 Ganancia de antena transmisora

La facultad que tienen las antenas de concentrar la potencia radiada hacia una dirección

inversamente absorver efectivamente la potencia incidente en ella desde tal dirección, se suele denominar y especificar de varias maneras en función de su ganancia (de antena): ganancia en potencia, ganancia directiva o directividad. El significado preciso de estas expresiones es mas fácil de entender definiendo primeramente una cantidad conocida como intensidad de radiación.

La potencia radiada por unidad de área en cualquier dirección viene dada porel vector de *Poyinting p*. Para un campo distante en el que E y H sean ortogonales en un plano normal al vector radial y en el que $E=n\sqrt{}H$, el flujo de potencia por unidad de área viene dado por:

$$p = \frac{E^2}{n\sqrt{}} \quad [W/m^2]$$

Refiriéndonos a la *figura 3.2.1.1* se ve que hay r^2 metros cuadrados de superficie por unidad de ángulo sólido (o esterradiante), y definiendo la intensidad de radiación $\phi(\theta,\varphi)$ en una dirección dada, como la potencia por unidad de ángulo sólido en tal direción, vemos que:

$$\phi(\theta,\varphi) = r^2p = \frac{r^2E^2}{n\sqrt{}} \quad [w/\text{unidad de ángulo sólido}]$$

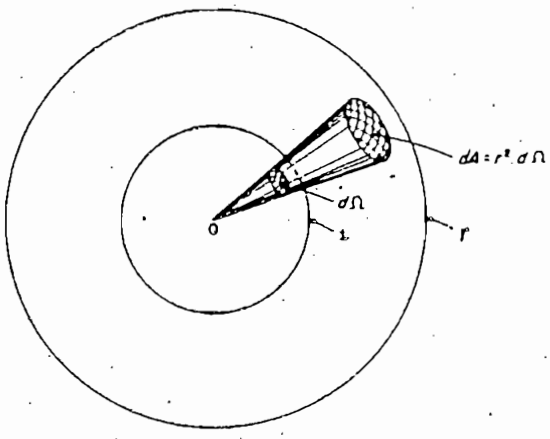


FIGURA 3.2.1.1

Se debe notar que la intensidad de radiación es independiente de r. La potencia total radiada es:

$$Wr = \int \phi d\Omega \quad (w)$$

Y como hay 4π esterradiantes en el ángulo sólido total, la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido es:

$$\frac{Wr}{4\pi} = \phi_{av} \quad [w/esterradiantes]$$

ϕ_{av} representa la intensidad de radiación que produciría un radiador isotrópico (aquel que radía uniformemente en todas las direcciones) que radiase la misma

potencia total Wr.

Se define la ganancia directiva **gd**, en una direción dada, como la razón entre la intensidad de radiación en tal dirección y la potencia media radiada, es decir:

$$gd(\theta,\varphi) = \frac{\phi(\theta,\varphi)}{\phi_{av}} = \frac{\phi(\theta,\varphi)}{Wr/4\pi} = \frac{4\pi\phi(\theta,\varphi)}{Wr} \qquad (3.2.1.1)$$

$$= \frac{4\pi\phi(\theta,\varphi)}{\phi d}$$

La expresión en decibelios de la ganancia directiva se representa por **Gd**, siendo:

$$Gd = 10 \log_{10} gd$$

La directividad **D** de una antena, es su ganancia directiva máxima. Mientras la ganancia directiva es una función de los ángulos θ y φ (en los que debe especificarse), la directividad es una constante que se especifica para una dirección particular. Sin embargo, suele emplearse **gd** (sin especificar el ángulo) y **D** indiscriminadamente para designar la ganancia directiva en la dirección de radiación máxima.

Si en la expresión **(3.2.1.1.)** se emplea la potencia total de entrada **Wt** en lugar de la potencia radiada **Wr**, el resultado es la ganancia en potencia en lugar de la

ganancia directiva. La ganancia en potencia gp se define por:

$$gp = \frac{4\pi\phi}{Wt}$$

En donde Wt = Wr+Wl, Wl es la potencia de pérdidas en la antena. Es evidente que:

$$\frac{gp}{gd} = \frac{Wr}{Wr + Wl}$$

gp/gd es una medida del rendimiento de la antena. En muchas de las antenas bien construidas, el rendimiento es casi el 100%, de manera que las ganancias en potencia y directiva son casi iguales, hecho que ha conducido a la expresión mas vaga de *ganancia de antena* (designada por g sin subíndice), que en dB está dada por:

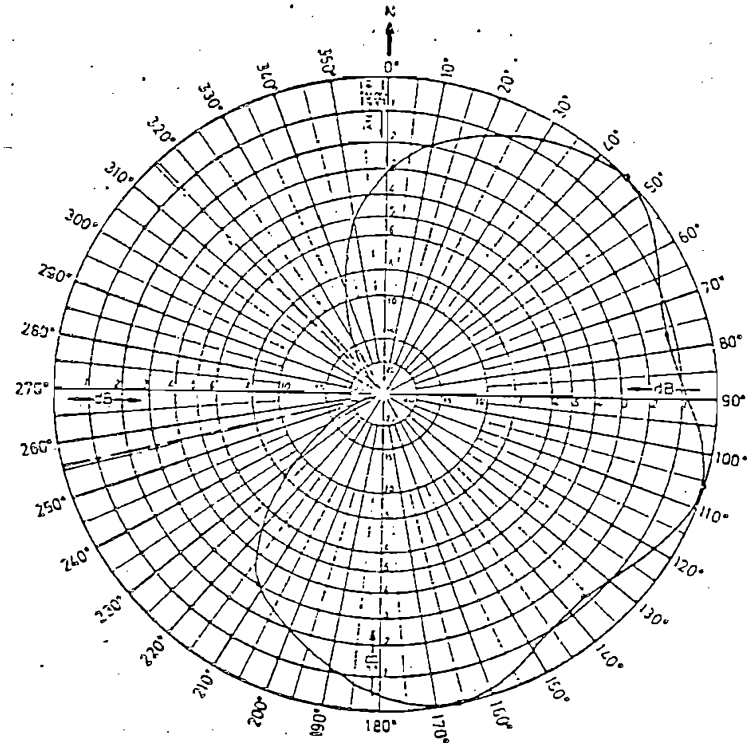
$$G = 10 \log g$$

Pero esta ganancia de una antena está dada para la dirección de máxima radiación, por lo tanto, para que la información sobre ganancia de una antena esté completa, se debe adjuntar los diagramas de radiación vertical y horizontal.

En la *tabla 3.2.1.1* se encuentran las ganancias y las figuras en las que están los diagramas de radiación de las antenas de televisión ubicadas en el Pichincha (Datos presentados a la Direción Nacional de Frecuencias en estudios de ingeniería para instalación de equipos).

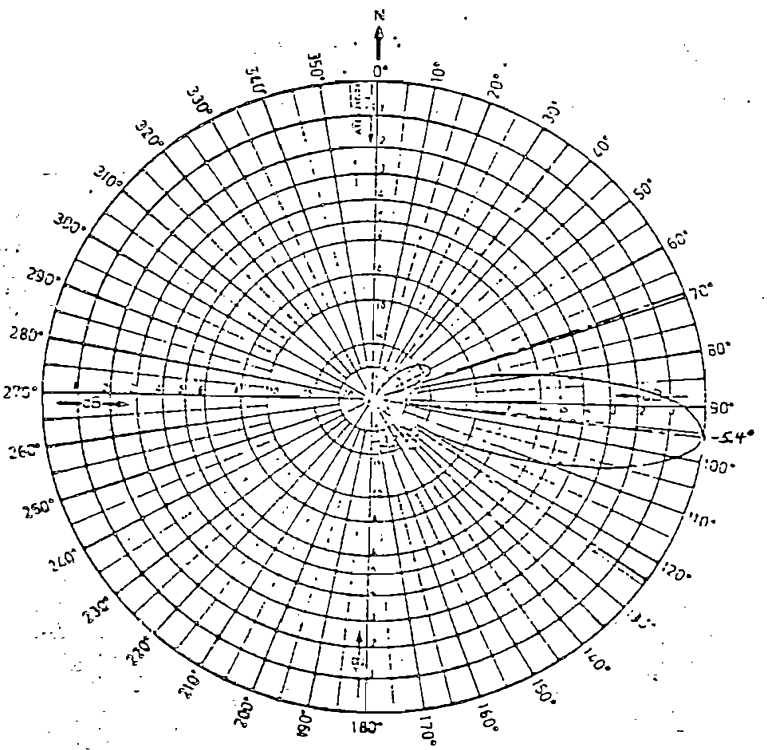
ITEM \ CANAL	2	4	8	10	13
Gananc(dB)	12	14	12	14	12
Diag. rad. Horiz.:FIG.	3.2.1.2a)	3.2.1.3a)	3.2.1.4a)	3.2.1.5a)	3.2.1.6a)
Diag. rad. Vert.:FIG.	3.2.1.2b)	3.2.1.3b)	3.2.1.4b)	3.2.1.5b)	3.2.1.6b)

Tabla 3.2.1.1



HORIZONTAL

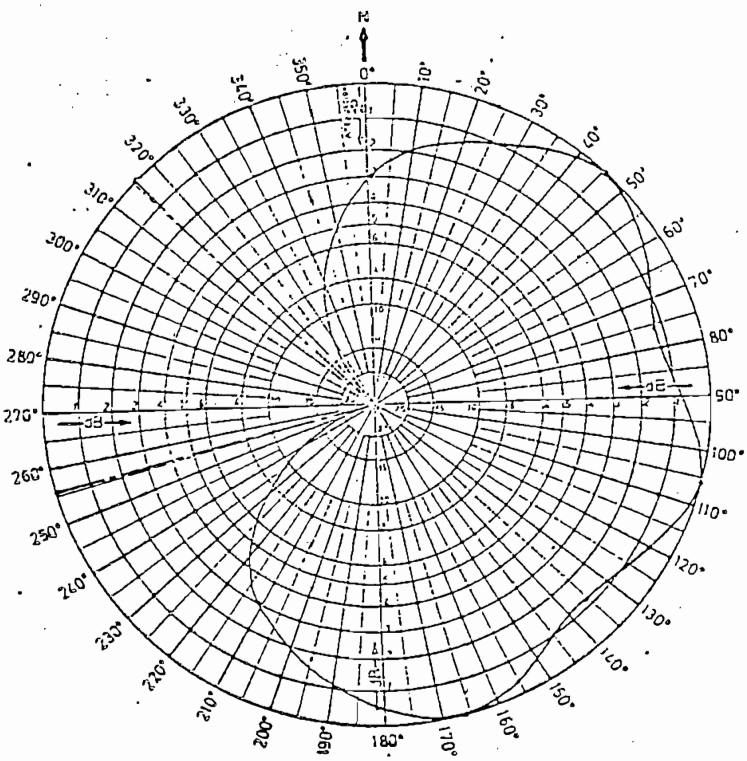
FIGURA 3.2.1.2a



VERTICAL

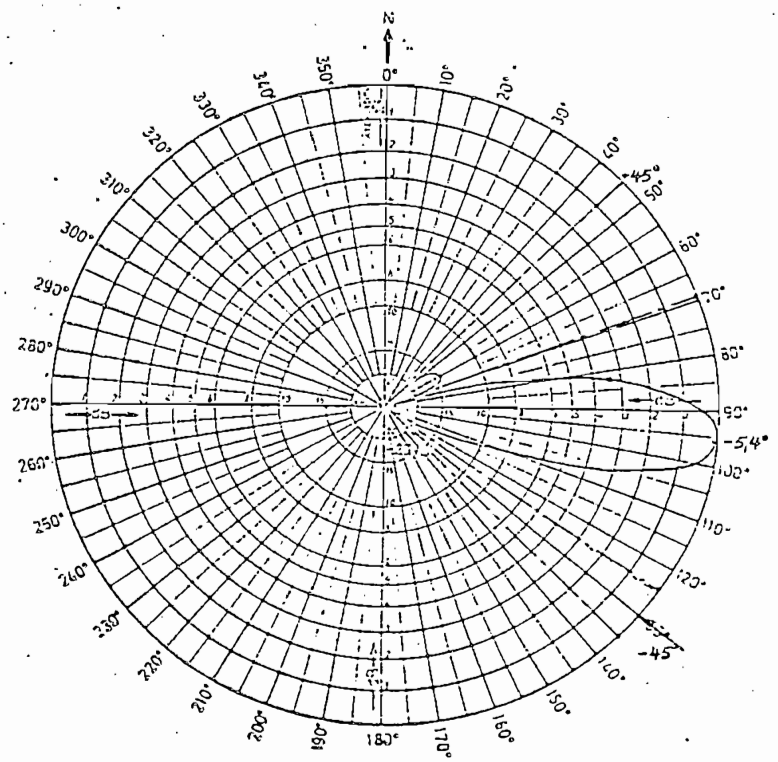
FIGURA 3.2.1.2b

Diagrama de radiación de antena de Canal 2



HORIZONTAL

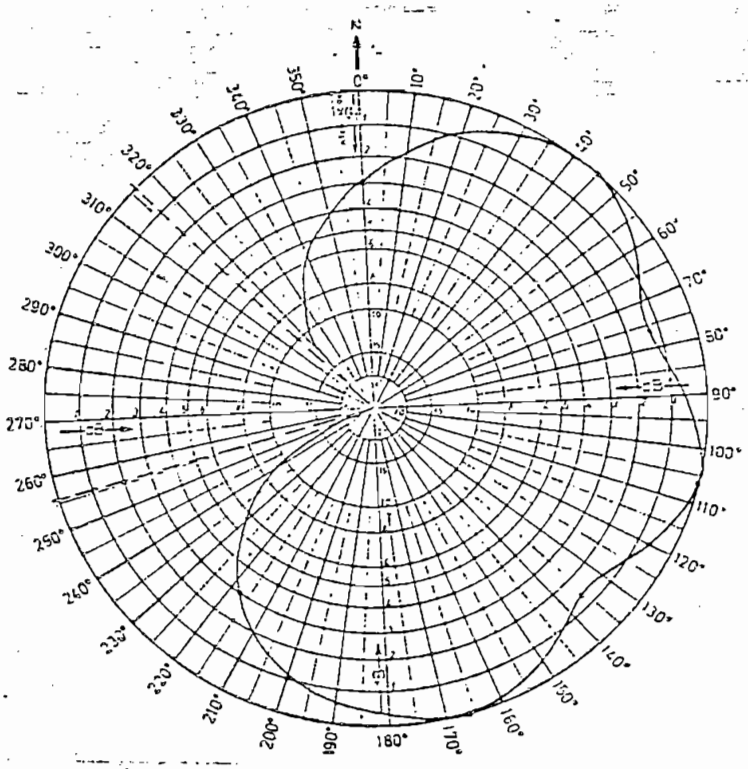
FIGURA 3.2.1.3a



VERTICAL

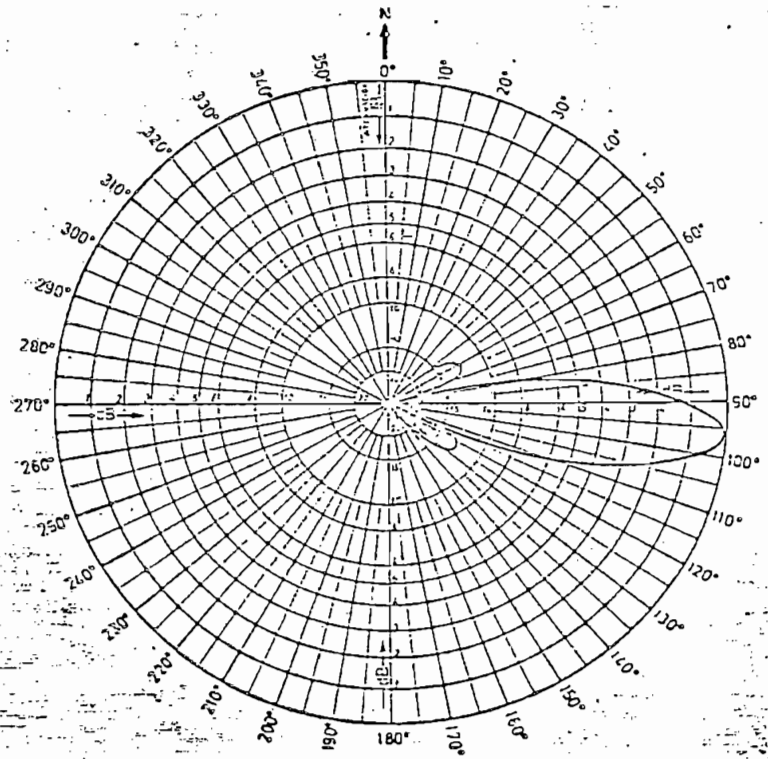
FIGURA 3.2.1.3b

Diagrama de radiación de antena de Canal 4



HORIZONTAL

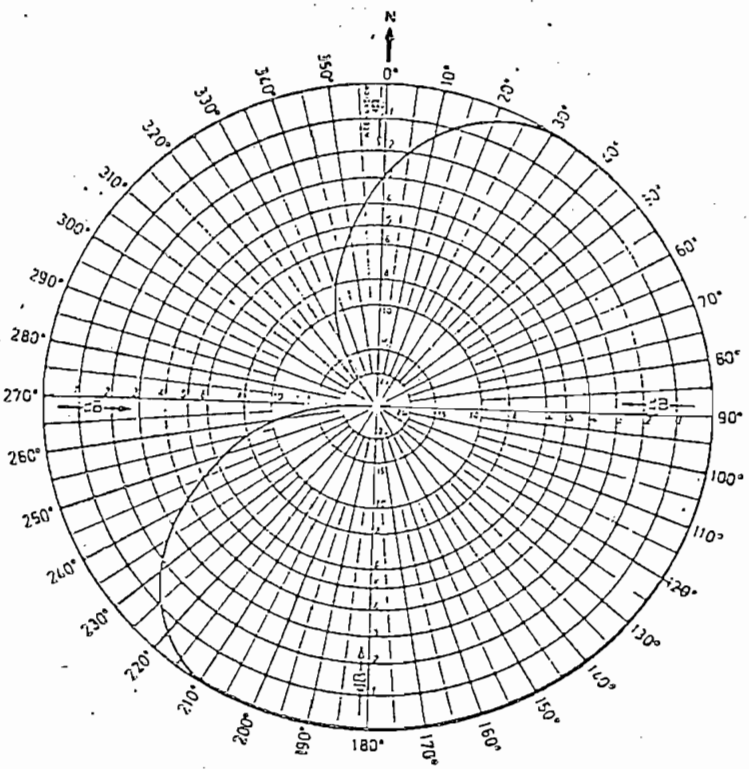
FIGURA 3.2.1.4a



VERTICAL

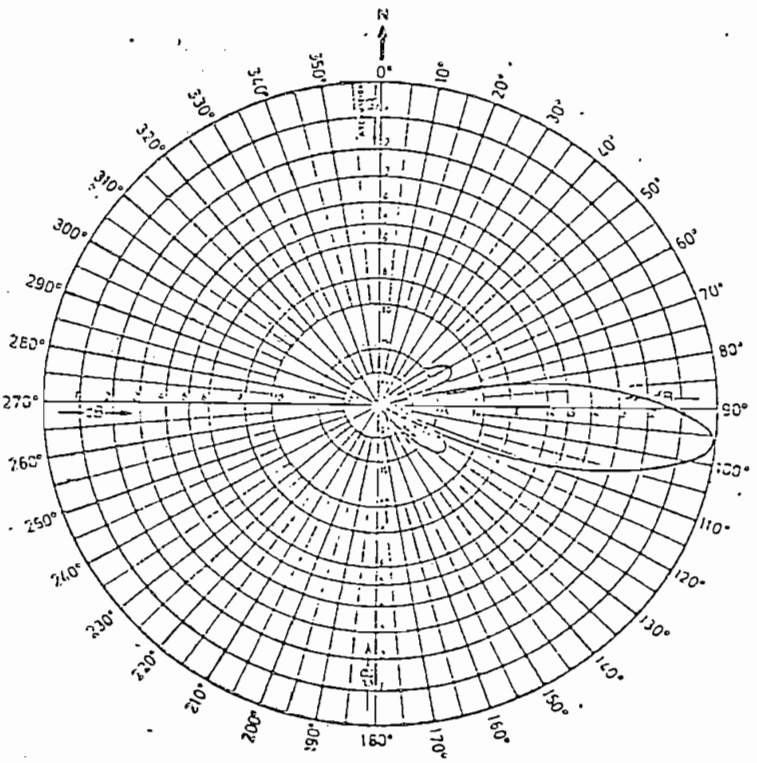
FIGURA 3.2.1.4b

Diagrama de radiación de antena de Canal 8



HORIZONTAL

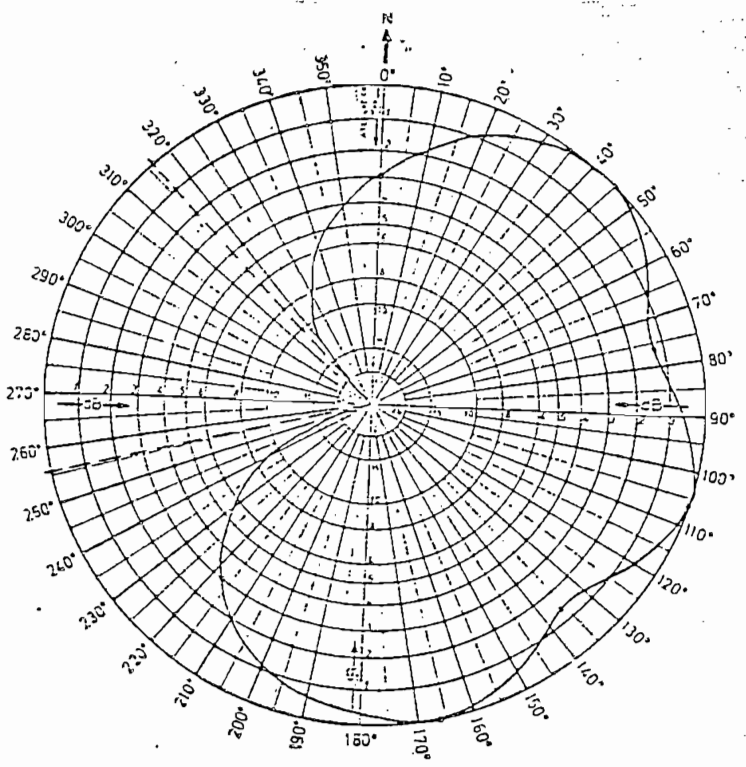
FIGURA 3.2.1.5a



VERTICAL

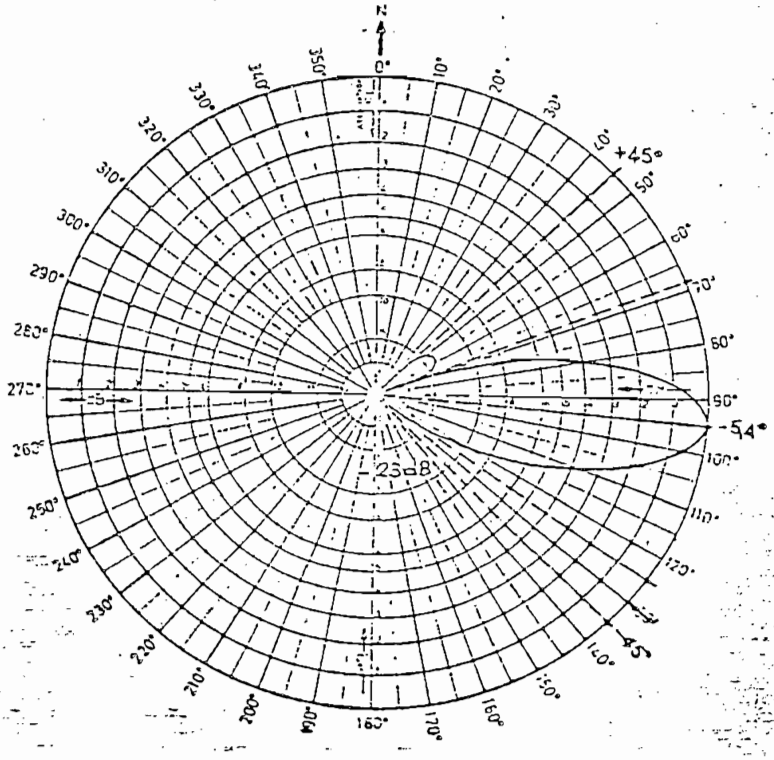
FIGURA 3.2.1.5b

Diagrama de radiación de antena de Canal 10



HORIZONTAL

FIGURA 3.2.1.6a



VERTICAL

FIGURA 3.2.1.6b

Diagrama de radiación de antena de Canal 13

3.2.2 Ganancia de antena receptora

En general, las ganancias de las antenas son dadas por el fabricante de las mismas, indiferentemente si van a ser usadas como transmisoras o como receptoras.

En el presente estudio, para cubrir el rango de VHF, se han usado dos antenas, las mismas que forman parte del sistema de medición de Intensidad de Campo eléctrico y por lo tanto, sus características están tomadas en cuenta en los resultados de las mediciones; pero a continuación se tienen las características principales de las mismas.

1.- Dipolo de banda ancha

MARCA: Rohde & Schwarz

MODELO: HFU2 - Z1

RANGO DE FRECUENCIA: 25 - 80 MHz

IMPEDANCIA: 50 ohmios

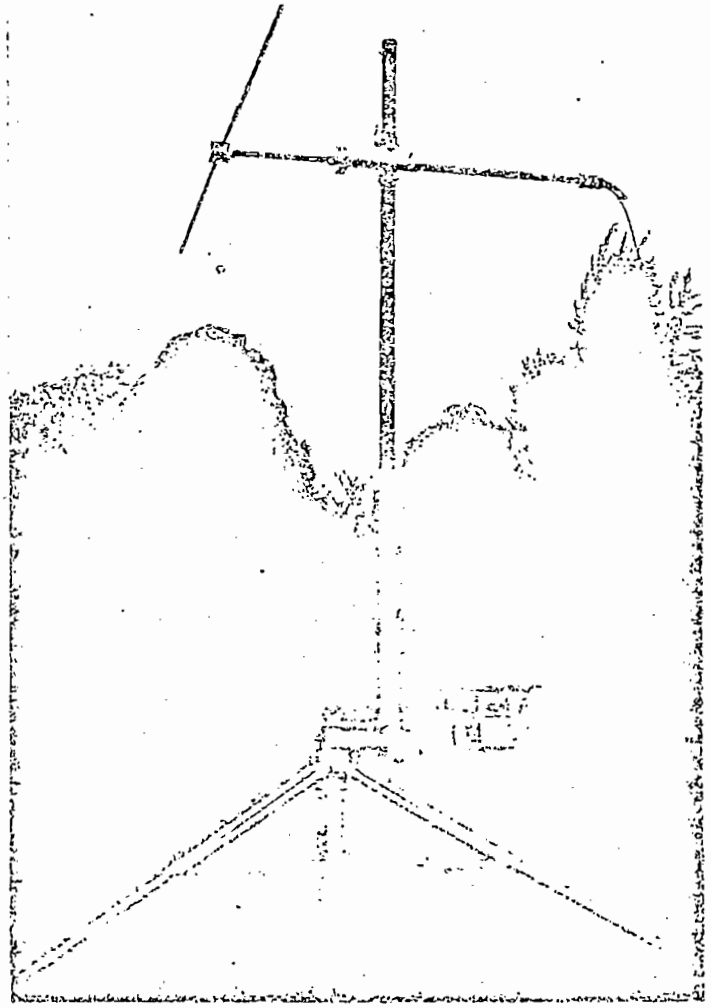
VSWR: < 2

FACTOR DE ANTENA k*: 7.5 a 14 dB *(Figura 3.2.2.2)*

Los Diagramas de radiación en el plano E de esta antena se da en la **figura 3.2.2.3:**

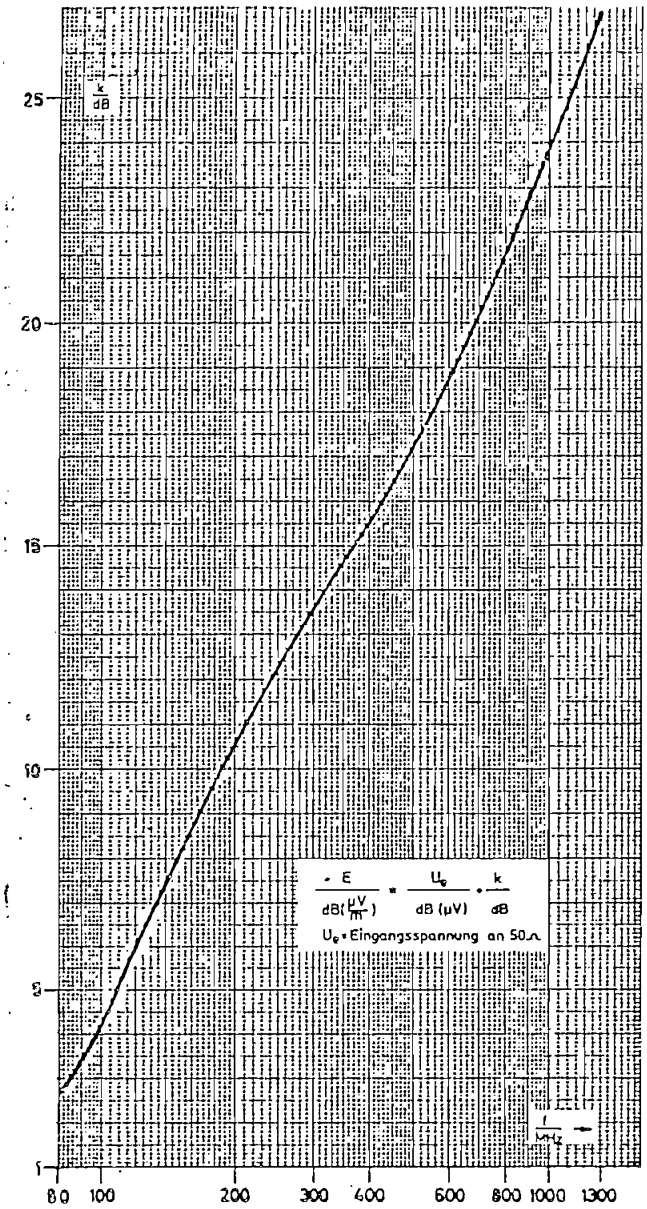
a) Para 40 MHz

b) Para 80 MHz



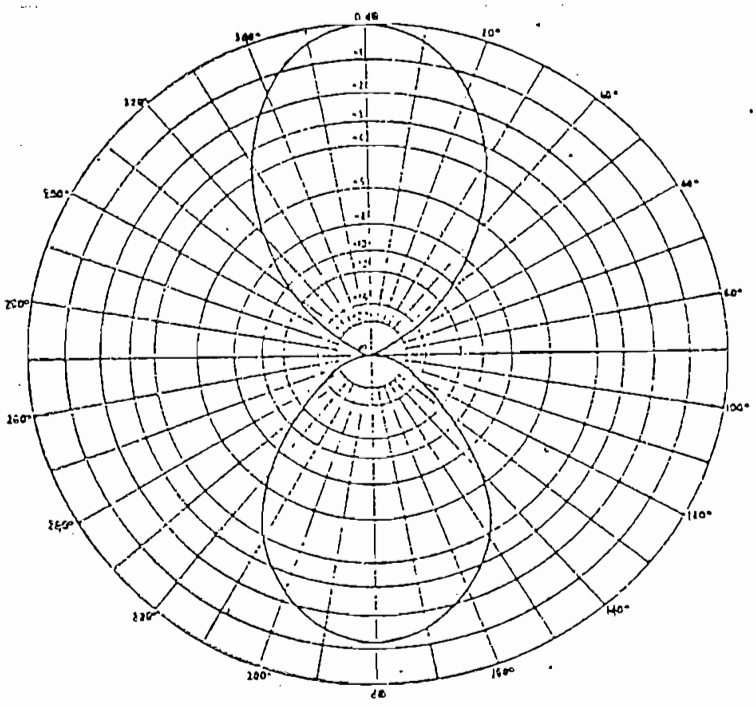
Dipolo de banda ancha

FIGURA 3.2.2.1

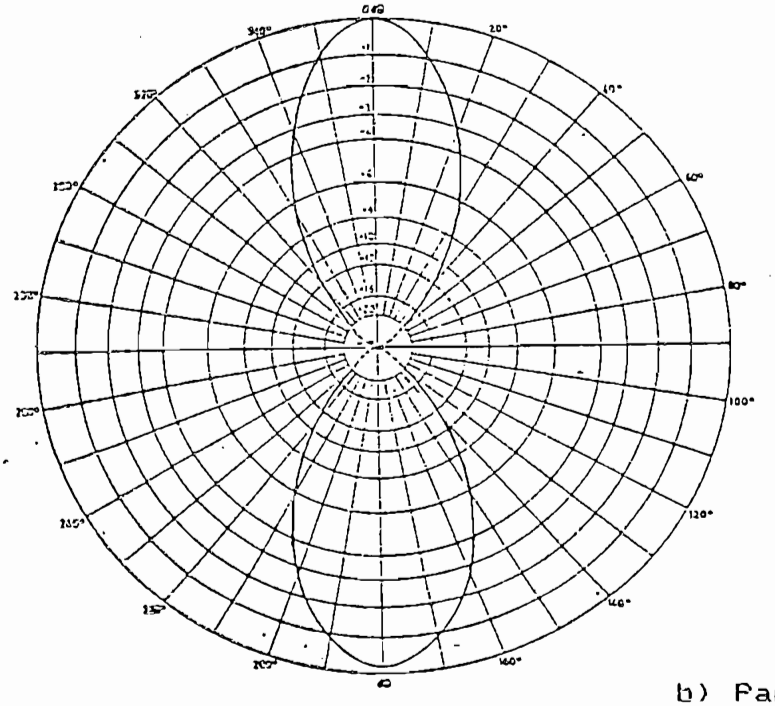


Factor k del dipolo de banda ancha

FIGURA 3.2.2.2



a) Para 40 MHz



b) Para 80 MHz

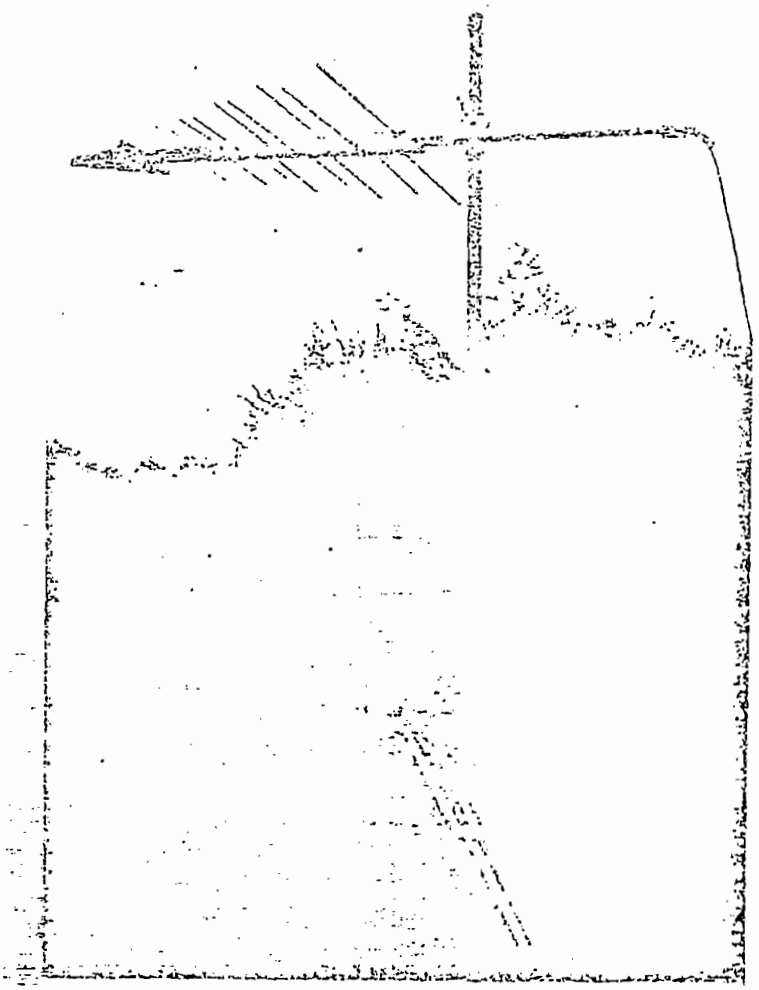
Diagrama de radiación en el plano E del dipolo de banda ancha: a) y b)

FIGURA 3.2.2.3

2.- Antena Log-periódica

MARCA: Rohde & Schwarz
MODELO: HL 023
RANGO DE FRECUENCIA: 80 - 1000 MHz
IMPEDANCIA: 50 ohmios
VSWR: < 2
FACTOR DE ANTENA k*: 2.5 a 23 dB *(Figura 3.2.2.5)*

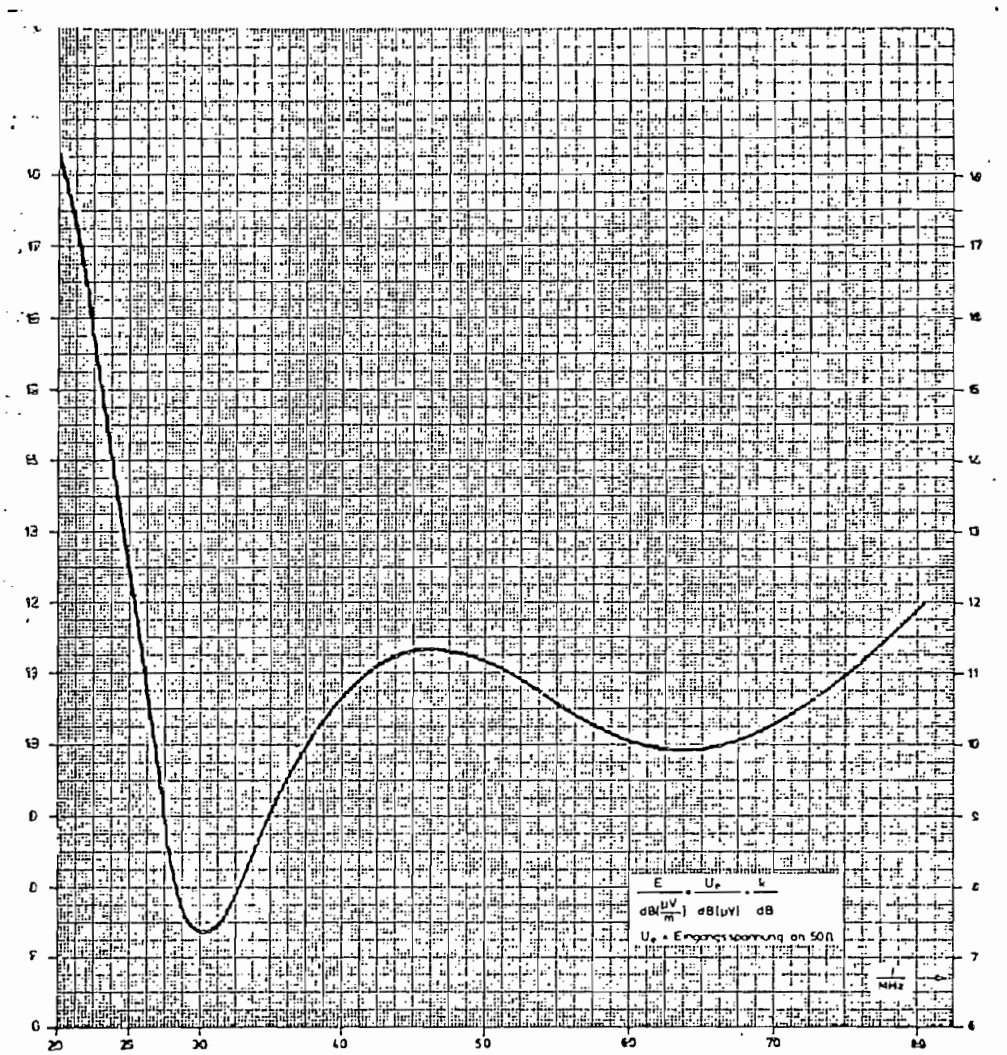
El Diagrama de radiación (plano E y plano H) se da en la figura 3.2.2.6



Antena Log-periódica

FIGURA 3.2.2.4

* *Factor que sumado al voltaje de entrada al receptor (medido) nos da el valor de intensidad de campo en dBu.*



Factor k de la antena Log-periódica

FIGURA 3.2.2.5

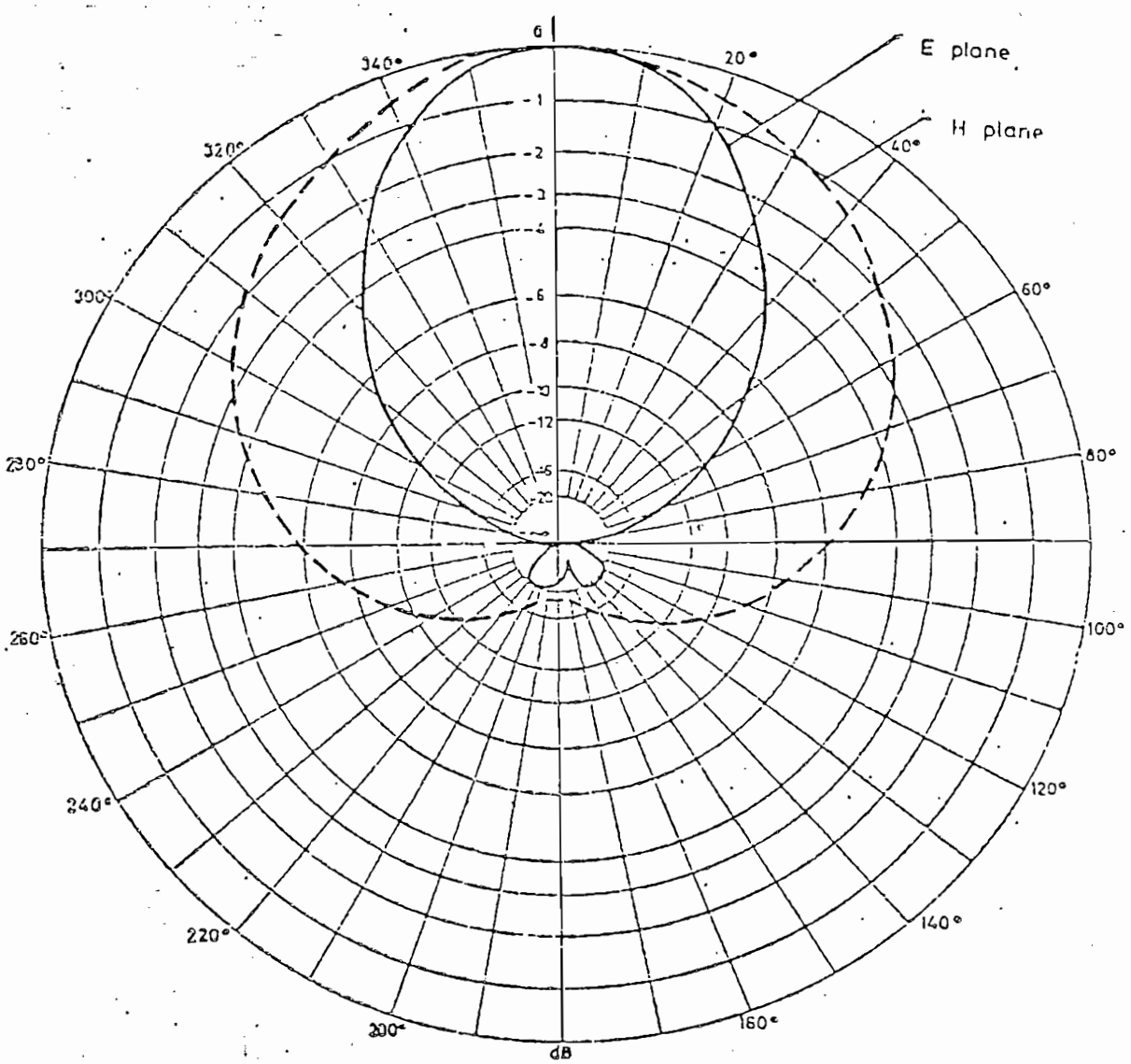


Diagrama de radiación. Antena Log-periódica

FIGURA 3.2.2.6

3.2.3 Ganancia por altura de antenas

La mayor o menor altura de las antenas no influye en la ganancia intrínsica de éstas ya que (como se vió en

el punto 3.2.1) ésta no es función de su altura, por lo tanto no se puede hablar de ganancia de una antena por su altura.

El problema de ganancia de antena, localización y altura ha sido investigado a fondo en Europa para FM y TV por algunos gobiernos. La Unión de Radiodifusión Europea (*European Broadcasting Union*) recomienda la mayor altura posible de antena transmisora con una ganancia adecuada para dar una apropiada señal en las partes cercanas del área de servicio.

En el caso de terrenos muy montañosos y áreas de servicio extensas, la altura de las antenas transmisora y receptora con relación al nivel medio del terreno es un factor de mucha importancia, aunque la potencia del transmisor, directividad de la antena y sensibilidad del receptor tienen naturalmente un efecto considerable sobre la seguridad máxima del servicio y su alcance.

Por lo expresado anteriormente, es recomendable, en nuestro país (especialmente en la Sierra) que las alturas de las antenas transmisoras sean lo más altas posibles, para de esta manera aprovechar al máximo la potencia de las transmisiones, ya que con antenas elevadas se evitarán las obstrucciones existentes debido a lo montañoso de nuestros terrenos.

En los cálculos de propagación no se habla de ganancia por altura de antenas, pero en terrenos montañosos, es conveniente especificar la altura de la antena sobre el nivel medio del terreno circundante para la que se realizó el cálculo.

3.3 Pérdidas

Hay un gran número de factores que pueden provocar atenuación, la que podemos definir como disminución de intensidad, en el caso de las ondas electromagnéticas. Para propósitos del presente estudio vamos a dividir a las pérdidas en dos partes: las pérdidas ocasionadas desde la salida del transmisor hasta la entrada de la antena transmisora, y las pérdidas ocasionadas en el trayecto de propagación.

Las pérdidas ocasionadas hasta la entrada de la antena transmisora por presentar mucha dificultad para su medición y por ser pequeñas con relación a las otras, se las asumirá de acuerdo a los valores dados en los puntos 3.3.1 y 3.3.2.

Las pérdidas en el trayecto de propagación (objeto de esta Tesis) se las calcula como en el punto 3.3.3 aunque para dar mayor utilidad a estos valores, se han

elaborado curvas de propagación, basadas en estas pérdidas, en el capítulo V.

3.3.1 Pérdidas en el diplexer del transmisor

Transmisión Aural y Visual

Para la radiodifusión de señales de televisión standard la séal de video modulada en amplitud, está dada por un transmisor visual y la señal de audio modulada en frecuencia está dada por un transmisor aural, la salida del cual es generalmente, un medio del pico de la potencia de video que sale del transmisor visual. Para radiar estas dos señales, que son diferentes, se emplean varias técnicas.

Antenas Separadas

Las antenas separadas, son usadas, una para radiar la señal de video y otra para radiar la señal de audio. Siguiendo este procedimiento, se necesitan dos líneas de transmisión para que sean conectadas cada una a un transmisor y su antena. De esta manera se deben tener dos precauciones:

a) El aislamiento individual de las antenas debe ser

suficiente para evitar la interacción y la intermodulación dentro de los sistemas.

b) Los Diagramas de radiación individuales de las antenas deben ser suficientemente iguales, de tal manera que la relación entre la señal de video y la señal de audio sea ni tan grande ni tan pequeña. Un ejemplo de la bondad de esta instalación es el uso de antenas múltiples en cruz, en las cuales, la mitad más elevada se la usa para la transmisión de las señales de video y la mitad mas baja para la transmisión de la señal de audio.

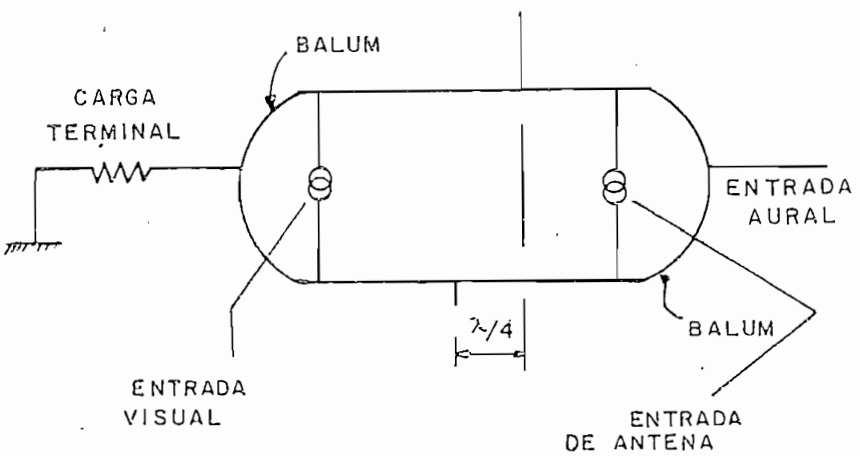
Sistema de Puente

El sistema de puente diplexor para alimentar una antena es usado en las antenas múltiples en cruz. La antena completa es alimentada a través de un puente, en donde las dos entradas están en cuadratura. El sistema radiante está también armado con una relación de cuadratura de tal manera que el diagrama de radiación sea substancialmente circular, así como lo será el diagrama de radiación de la parte baja.

Cavidad Duplexora

Es lo que se usa cuando se tiene una sola antena para radiar las dos señales (audio y video), por lo tanto se tiene una sola entrada a la antena, para lo que se re-

quiere un circuito que combine las señales aural y visual. Como se muestra en la *figura 3.3.1.1*, la señal aural dividida por un ***balum***, es reflejada desde las cavidades sintonizadas a la frecuencia aural. estas cavidades están diseñadas de manera que presenten una muy baja impedancia a través de la línea. Desde la separación de 1/4 de longitud de onda, la señal aural, en la parte inferior de la figura, viaja media onda adicional hacia y desde la cavidad cambiando de fase, así la señal entra a los terminales balanceados. Cualquier energía aural que escape de la cavidad es absorbida por la carga terminal. La señal balanceada visual entra al terminal balanceado de la antena, la energía de la señal visual es reflejada (como la aural) y por la separación de 1/4 de onda de la cavidad es revertida en fase y absorbida por la carga terminal.



Cavidad Duplexora

FIGURA 3.3.1.1

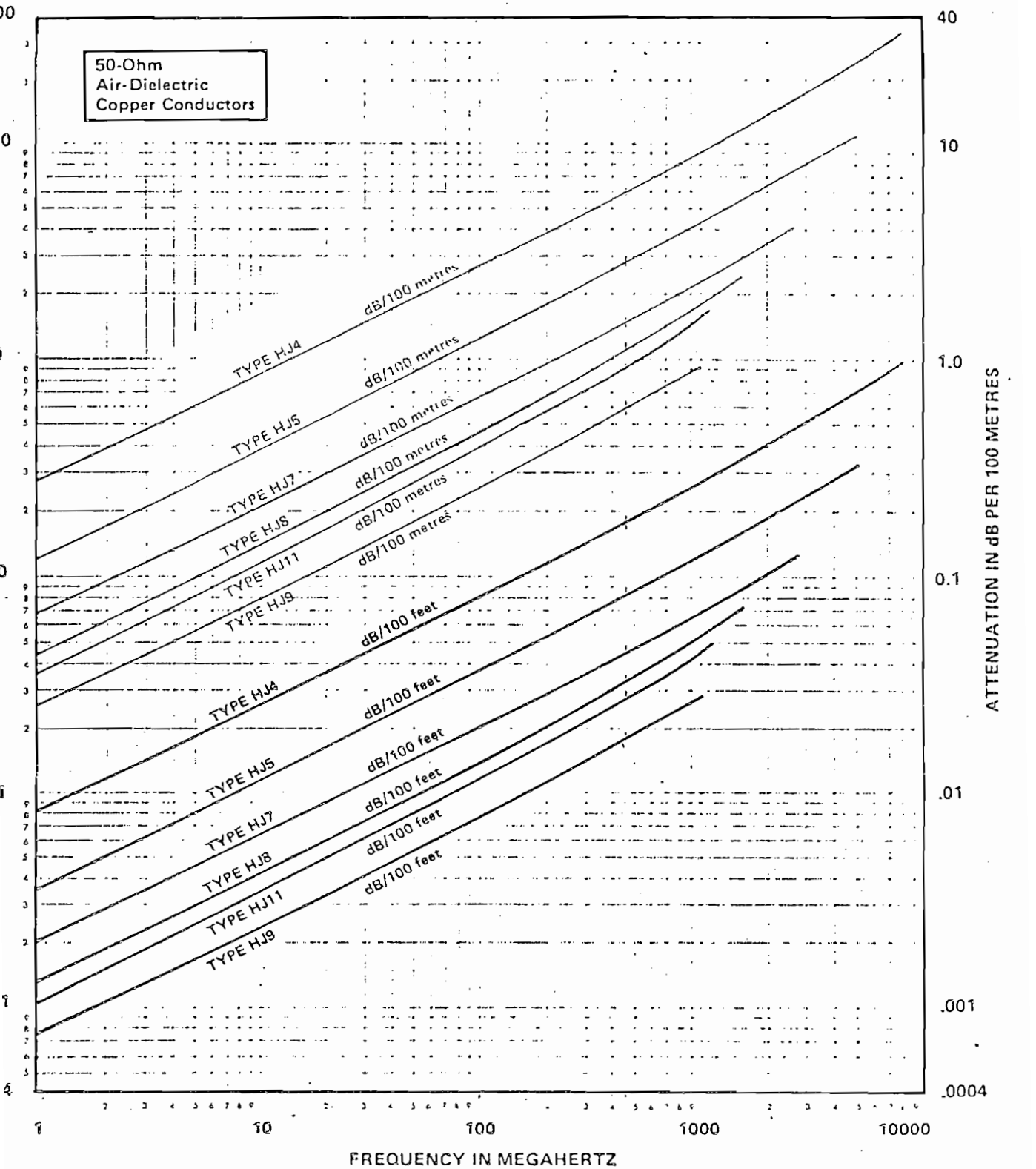
En general, cualquiera que sea la técnica usada en la combinación de las señales de audio y video, siempre se tiene una pérdida o atenuación de la señal que pasa a través de este circuito. Para propósitos prácticos y de este estudio se puede asumir una pérdida de 3 dB que es lo que se encuentra en los elementos comerciales.

3.3.2 Pérdidas en líneas de Alimentación y Acoplamientos

En un circuito radioeléctrico hay que tomar en cuenta las pérdidas en alimentadores y acoplamientos del transmisor y del receptor.

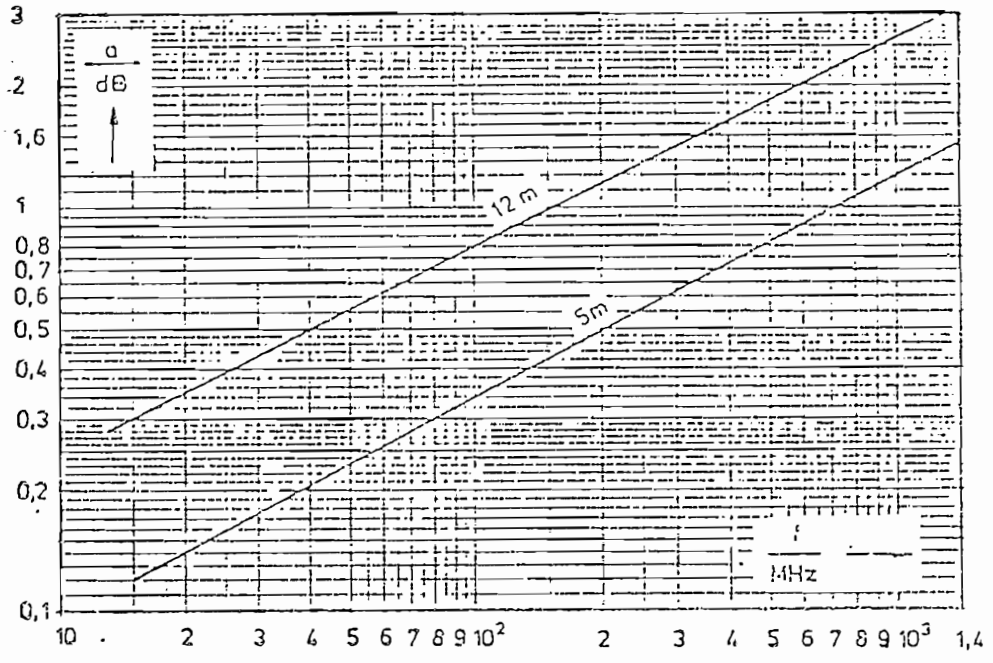
En los transmisores de televisión estudiados, se tiene como alimentadores, cables coaxiales con aire como dieléctrico, sus pérdidas se pueden obtener de gráficos (como la *figura 3.3.2.1*) que da el fabricante. Para el presente caso se tomará el valor de 1 dB para las pérdidas por alimentación y acoplamientos.

Para el caso del receptor, en el equipo utilizado para la medición de intensidad de campo ya está tomada en cuenta la pérdida del cable de alimentación y los acoplamientos, pero en la *figura 3.3.2.2* se da la atenuación del cable utilizado (5m).



Atenuación para diferentes tipos de cables coaxiales

FIGURA 3.3.2.1



Atenuación en alimentador de recepción (5m)

FIGURA 3.3.2.2

3.3.3 Pérdidas en el trayecto de propagación

El problema con que se tropieza al tratar de comprender el comportamiento de los circuitos radioeléctricos por encima de 30 MHz es que no se pueden separar de forma adecuada los distintos fenómenos físicos que influyen en la propagación. A menudo su efecto no es lo suficientemente claro para poder identificar con facilidad su influencia individual o su contribución a la señal deseada, es por esto, que el hablar de pérdidas en el tra-

yecto de propagación, involucra muchos factores como son: pérdida en el espacio libre, pérdidas por obstrucciones, perturbaciones atmosféricas, etc.

Las pérdidas en el trayecto de propagación (L_a) están dadas por:

$$L_a = Per - Pr \quad [dB] \qquad (3.3.3.1)$$

Donde:

Pr --> Potencia de recepción [dB]

Per --> Potencia efectiva radiada [dB]

La potencia efectiva radiada **(Per)** está dada por:

$$Per = Pt + G - L \quad [dB] \qquad (3.3.3.2)$$

Si se quiere Per en dBm se hará:

$$Per\ (dB) + 30 = Per\ [dBm]$$

Donde:

Pt --> Potencia de salida del transmisor [dB]

G --> Ganancia de la antena para la dirección en cuestión [dB]

L --> Pérdidas en el diplexer, lineas de alimentación y acoplamientos.

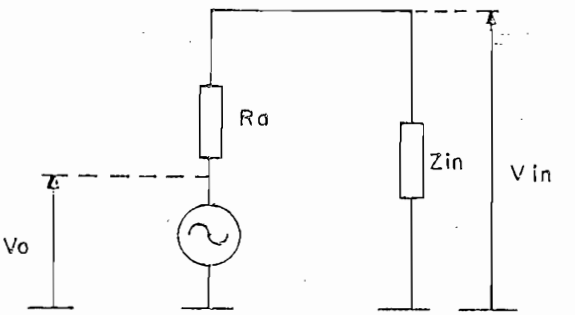
El equipo utilizado en la medición nos da el valor de Vin según la *figura 3.3.3.1*, por lo tanto, la potencia de recepción estaría dada por:

$$Pr[w] = \frac{V_{in}^2\ [V]}{R\ [\Omega]} \qquad (3.3.3.3)$$

que pasando a unidades más convenientes y para una resistencia de entrada en el receptor de 50 ohmios, nos quedaría:

$$Pr[dBm] = Vin[dBu] - 106.98 \qquad (3.3.3.4)$$

La ***ecuación (3.3.3.4)*** es la que se puede usar para el cálculo de potencia de recepción teniendo como dato Vin (Voltaje de entrada al receptor); además el conocimiento de Pr nos permite calcular las pérdidas totales en un trayecto de propagación.



Circuito característico a la entrada del receptor

FIGURA 3.3.3.1

De la *figura 3.3.3.1*:

$$Vin = \frac{Vo \cdot Zin}{Ra + Zin}$$

$$= \frac{Vo}{2} \quad \text{(Cuando Ra = Zin)}$$

Pero:

$$Vo = E \cdot h_{ef}$$

Donde,

E --> Intensidad de campo

h_{ef} --> Longitud efectiva de la antena

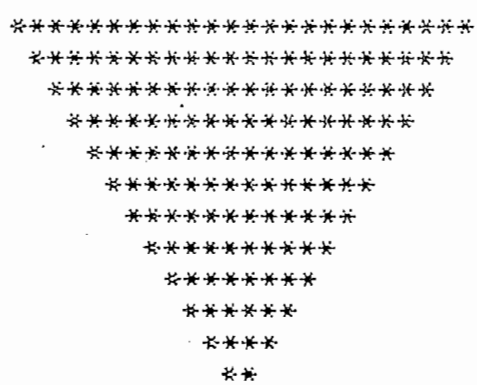
$$E = \frac{Vo}{h_{ef}} = \frac{2 \cdot Vin}{h_{ef}}$$

Si $\frac{2}{h_{ef}} = k$

$$E = Vin \cdot k$$

Por lo tanto, la intensidad de campo estaría dada por:

$$E\ [dB(uv/m)] = Vin\ [dB(uv)] + k\ [dB]$$



C A P I T U L O I V

PERDIDAS EN EL TRAYECTO DE PROPAGACION

4.1 Pérdidas por difracción

4.2 Pérdidas por dispersión

4.3 Pérdidas por reflexión

4.4 Pérdidas por el terreno existente en el camino del rayo

4.4.1 Irregularidades del terreno

4.4.2 Vegetación en el trayecto

4.4.3 Ciudades existentes en el trayecto

PERDIDAS EN EL TRAYECTO DE PROPAGACION

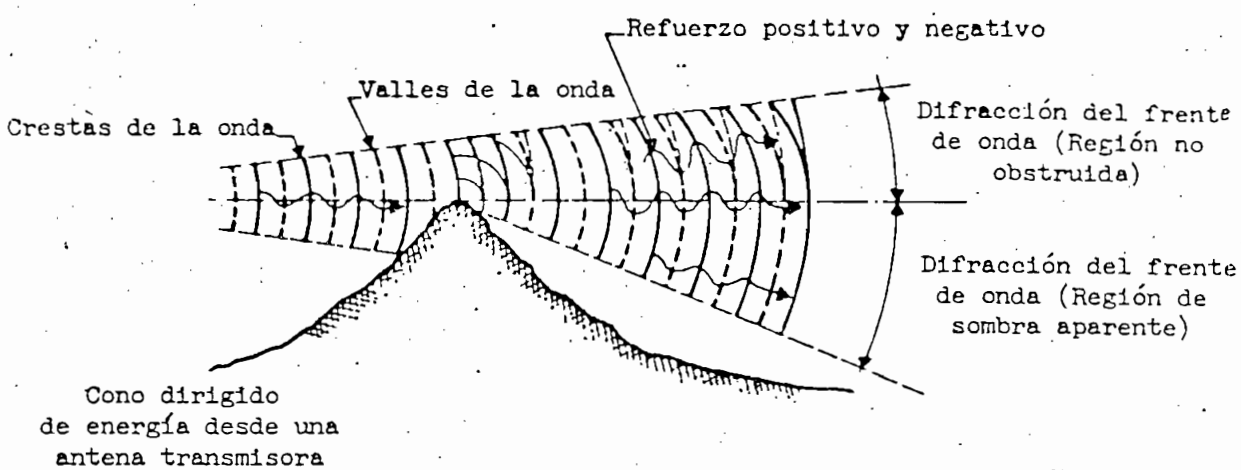
Cuando se establece un circuito radioeléctrico, las mayores pérdidas se encuentran en el trayecto de propagación, y el propósito de este estudio es el de establecer las mismas, por esto, en el capitilo V se ha conformado una familia de curvas normalizadas para 1 Kw de potencia radiada aparente y para terrenos que en nuestro país (sierra) es común encontrar.

Debido a que es muy difícil establecer y determinar cada una de las causas que producen pérdidas en un trayecto de propagación y un solo estudio de éstas fuera un tema extenso para ser tratado, se han reunido todas estas características en las curvas indicadas, las mismas que son de uso sumamente fácil (Capítulo V). Por esta razón, a continuación, se indican métodos y datos sencillos de fácil uso para determinar las atenuaciones de las ondas radioléctricas debidas a diferentes causas que son las más comunes de encontrar en los trayectos reales de propagación.

4.1 Perdidas por difracción

Las ondas de radio tienden a seguir un camino más o menos recto cuando se propagan en un medio homogéneo; sin embargo, la cantidad de energía de radiofrecuencia que viajará desde una antena transmisora a una antena receptora, está determinada por la trayectoria sobre la

cual las ondas viajan. En el momento que la onda roza cualquier obstáculo que se interponga en su trayectoria, se produce un doblamiento de la misma y este efecto es denominado difracción. La *figura 4.1.1* representa el efecto de difracción de una onda al incidir en una montaña.



Difracción de una onda al incidir en una montaña

FIGURA 4.1.1

Debido a que es frecuente encontrar trayectos de difracción, se hace necesario calcular la pérdida de transmisión debida a la difracción que se produce,bien en la superficie esférica de la Tierra, o bien en un terreno irregular que incluya diferentes tipos de obstáculos.

Existen varias maneras de calcular la atenuación por difracción; la mayoría son empíricas, en base a mediciones y a experiencia.

El CCIR describe un método de cálculo de la atenuación

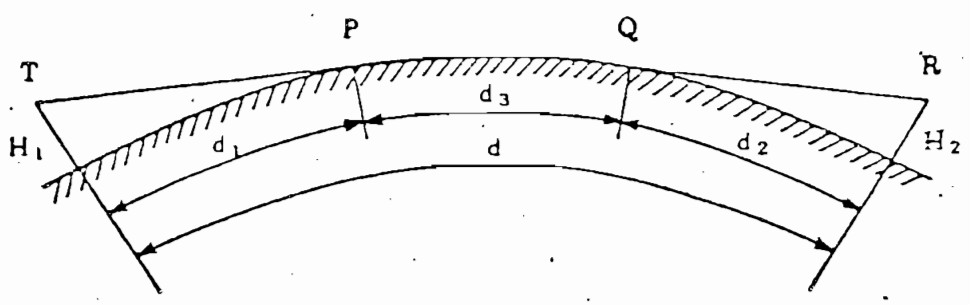
por difracción (I. 715-1) extremadamente idealizado en elque los cálculos se realizan para los siguientes casos: (DIFRACCION - Capítulo II)

- Obstáculos en filo de cuchillo
- Obstáculo único de forma redondeada.

Un método logrado en base a mediciones, con el que se obtienen buenos resultados y de uso fácil es el usado por la Administracion Japonesa, está basado en nomogramas, los cuales difieren de acuerdo al tipo del trayecto:

a) Atenuación por difracción sobre el suelo esférico (Ld)

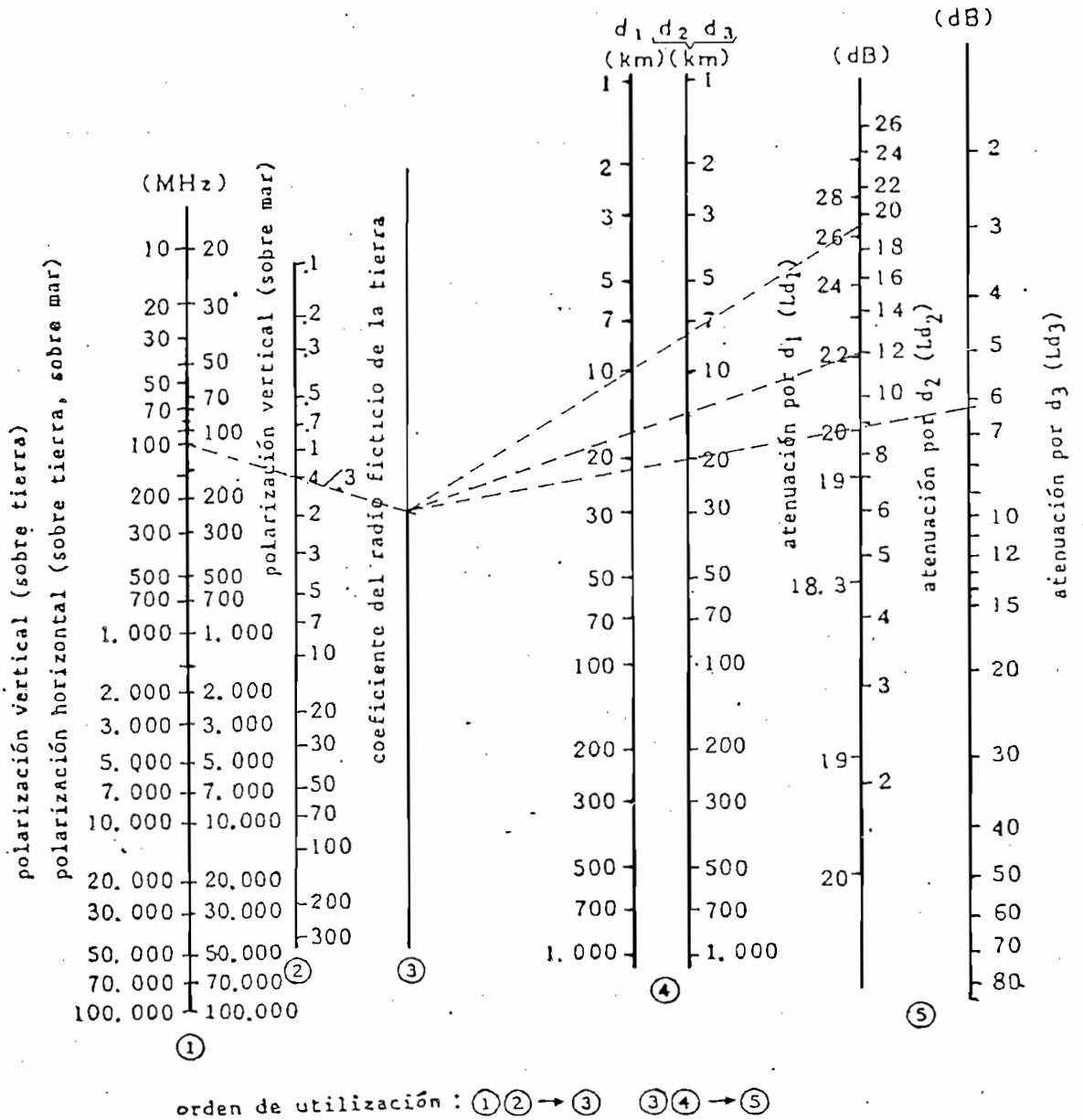
Es el caso en que entre la antena transmisora y la antena receptora no hay línea de vista debido a la esfericidad de la tierra (claro está, tomando en cuenta el radio efectivo de la tierra de acuerdo al índice de refracción) según muestra la *figura 4.1.2*



Trayecto de difracción debido a la esfericidad de la tierra

FIGURA 4.1.2

Esta atenuación se calcula mediante el nomograma de la *figura 4.1.3*



Nomograma para calcular la atenuación por difracción debida a la esfericidad de la Tierra

FIGURA 4.1.3

EJEMPLO 1

Si se tiene un trayecto sobre tierra con los siguientes datos:

$f = 100$ MHz

$d_1 = 10$ KM

$d_2 = 15$ KM

$d_3 = 20$ Km

$K = 4/3$ (coef. radio ficticio de la tierra)

Polarización : Horizontal

- En la columna (1) se localiza la frecuencia de 100 MHz (en su parte izquierda por ser el trayecto sobre tierra).

- En la columna (2) se localiza el punto k=4/3 por ser este valor de k que se utiliza en el ejemplo.

- Uniendo los puntos ubicados en las columnas (1) y (2) y prolongando la recta, se obtiene un punto en la columna (3).
- Se ubica la distancia d_1=10 Km en (4) (parte izquierda), uniendo este punto con el obtenido en (3) y prolongando la recta hasta (5), se obtiene en esta columna, en su parte izquierda, la atenuación debida a d_1, que es para este ejemplo: $Ld_1 = 26$ dB.

- En la columna (4) en su parte derecha, se ubica el valor

d_2=15 Km; uniendo este punto con el que se tiene en (3) y rpolongando la recta hasta (5), se lee aquí (parte derecha de línea izquierda) el valor de atenuación debida a d_2 que resulta: Ld_2 = 12 dB.

- Se ubica en (4) el valor de d_3=20 Km, uniendo este punto con el que se tiene en (3) y prolongando la recta hasta (5), se lee en ésta (parte derecha de línea derecha) el valor de atenuación debida a d_3: Ld_3 = 6.5 dB.

- Por lo tanto, la atenuación total por difracción es:

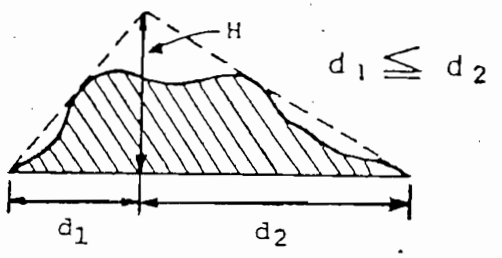
$$Ld = Ld_1 + Ld_2 + Ld_3$$

$$Ld = 26\ [dB] + 12\ [dB] + 6.5\ [db]$$

$$Ld = 44.5\ dB$$

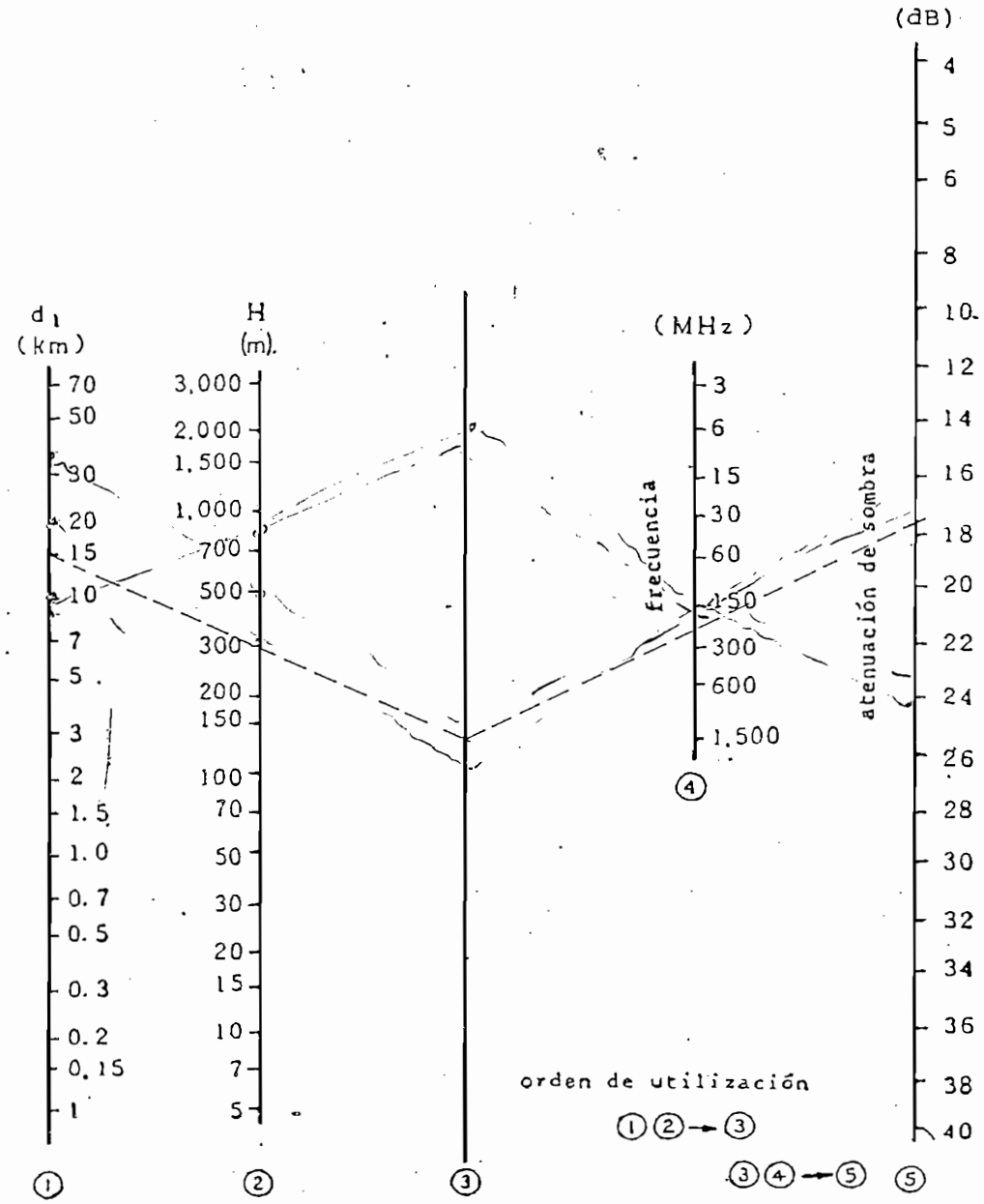
b) Atenuación debida a una meseta (Lt)

La atenuación (Lt) debida a que el trayecto de propagación, tal como se muestra en la ***figura 4.1.4***, está bloqueado por una meseta, se obtiene mediante el nomograma de la ***figura 4.1.5***.



Trayecto obstruído por una meseta

FIGURA 4.1.4



Nomograma para calcular la atenuación por obstrucción de una meseta

FIGURA 4.1.5

EJEMPLO 2

Sea un trayecto con los siguientes datos:

$f = 200$ MHz

$d_1 = 15$ Km

$d_2 = 20$ Km

$H = 300$ m

- Se localiza en la columna (1) el punto d_1=15 Km.

- En la columna (2) se ubica el punto H=300 m.

- Uniendo los puntos establecidos en (1) y (2) y prolongando la recta, se obtiene un punto en la columna (3).

- Luego se localiza en la columna (4) el punto f=200 MHz.

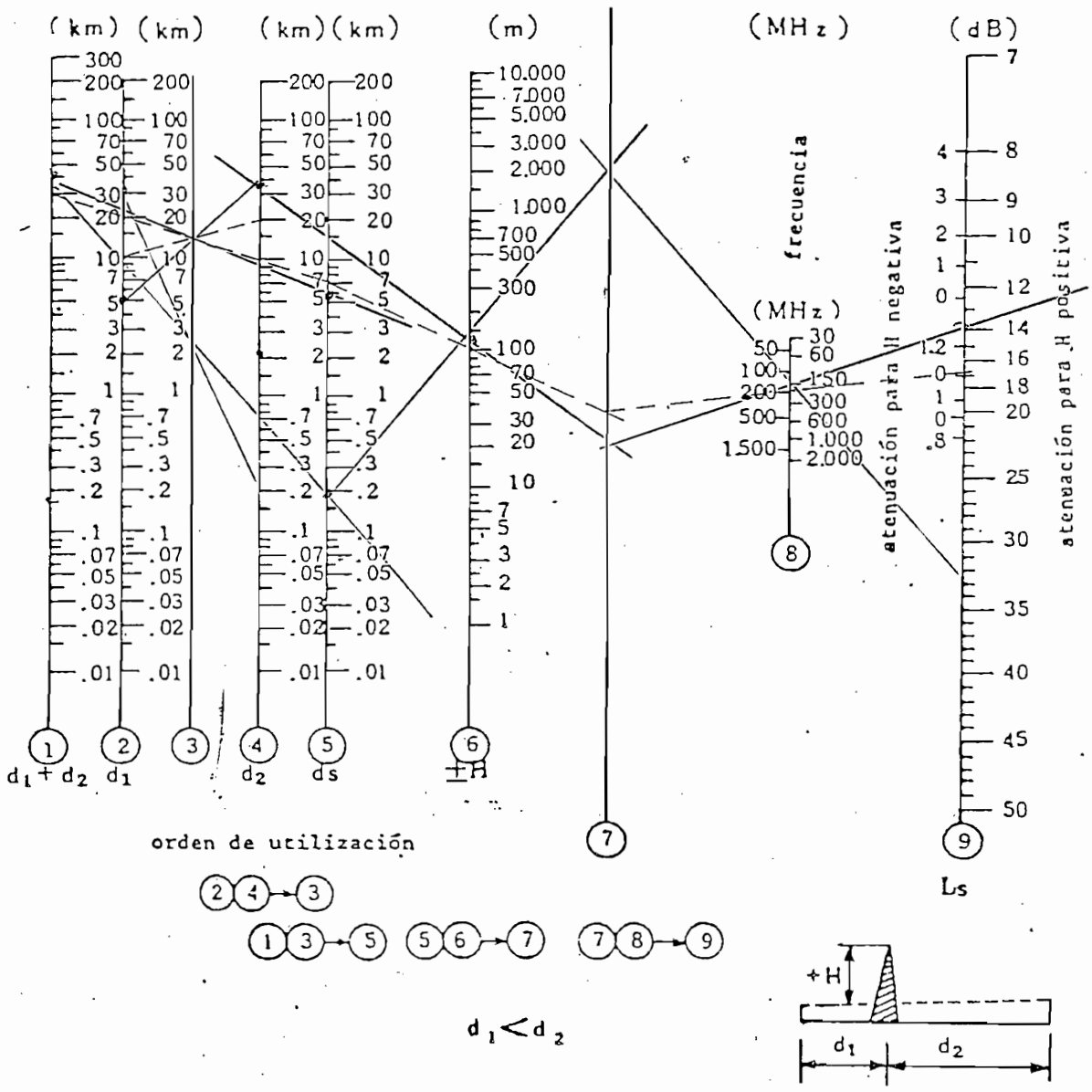
- Uniendo los puntos obtenidos en (3) y (4) y prolongando la recta hasta la columna (5) se obtiene de ésta la atenuación.

Por tanto, la atenuación debida a una meseta rsulta en este ejemplo:

$$Lt = 17.7 \text{ [dB]}$$

c) Atenuación debida a una cumbre (Ls)

Cuando el trayecto de propagación se encuentra obstruído por una cumbre, se puede obtener la atenuación (Ls) debido a ésta mediante el nomograma de la *figura 4.1.6*



Nomograma para calcular la atenuación debida a una cumbre

FIGURA 4.1.6

EJEMPLO 3

Sea un trayecto con los siguientes datos:

$f = 200$ MHz

$d_1 = 10$ Km

$d_2 = 20$ Km

$H = +100$ m

$d_1+d_2 = 30$ Km

- En la columna (2) se ubica el punto $d_1=10$ Km.

- En la columna (4) se ubica el punto $d_2=20$ Km.

- Uniendo los puntos localizados en (2) y (4) se obtiene un punto en la columna (3).

- Se ubica el punto $d_1+d_2=30$ Km en la columna (1).

- Uniendo los puntos obtenidos en (1) y (3) y prolongando la recta, se obtiene un punto en la columna (5).

- Se localiza un punto en la columna (6) en H=100 m.

- Uniendo los puntos obtenidos en (5) y (6) y prolongando la recta, se obtiene otro punto en (7).

- Se localiza en la columna (8) el punto f=200 MHz.

- Uniendo los puntos que se tienen en (7) y (8) y prolongando la recta se lee la atenuación por cumbre en la columna (9) (Parte derecha por ser H positiva).

Por lo tanto, la atenuación resultante debida a la cumbre, en este caso es:

$$Ls = 17 \text{ [dB]}$$

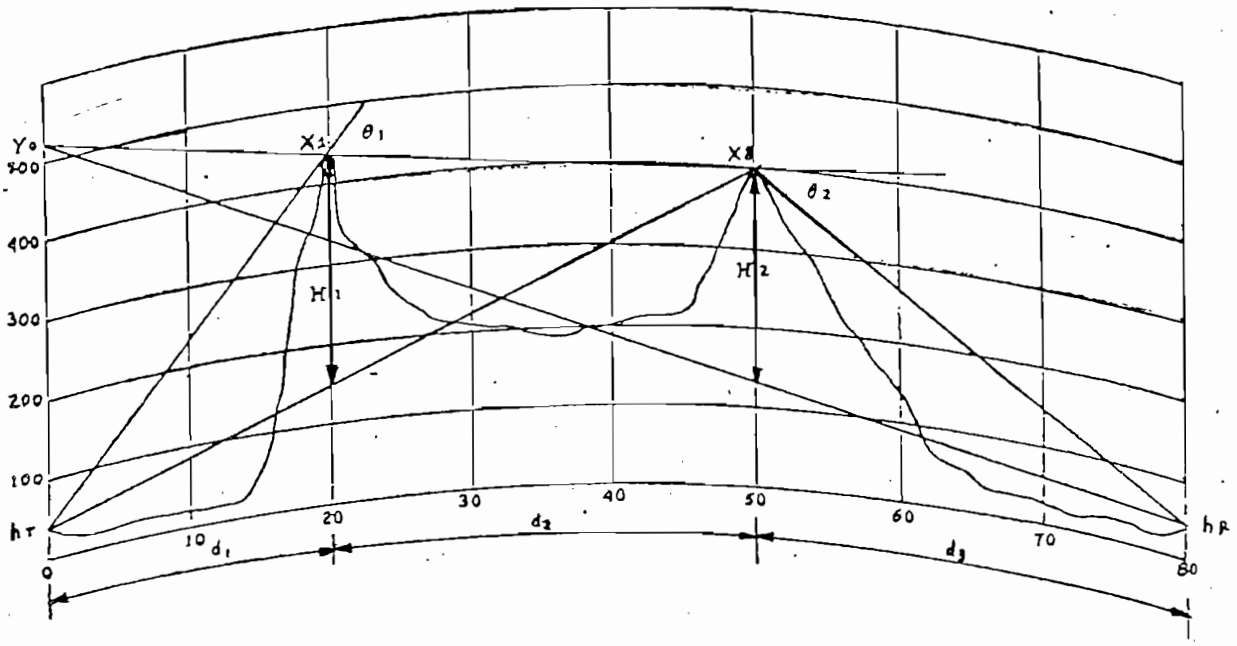
Si el trayecto de propagación estuviera obstruido por más de una cumbre, la atenuación total se obtiene sumando todas las atenuaciones debidas a todas las cumbres. Estas atenuaciones, de acuerdo con la ***figura 4.1.7*** se obtienen de la siguiente forma:

(1) En la ***figura 4.1.7***, h_T y h_R representan las alturas de las antenas de transmisión y recepción, y la longitud total del trayecto es de $d_1 + d_2 + d_3$. Suponiendo que las antenas están ubicadas en los puntos h_T y X_2, obtenemos la atenuación Ls_1 debida a la cumbre X_1 mediante el nomograma de la ***figura 4.1.6***. En este caso se considera H_1 como altura de la cumbre.

(2) Extendiendo la línea recta que pasa por los puntos X_1 y X_2, fijamos un punto y_∞ arriba del punto h_T. Suponiendo que las antenas estén ubicadas en los puntos h_R y y_∞, obtenemos también la atenuación (Ls_2) debida a la cumbre X_2 mediante el nomograma de la ***figura 4.1.6***.

En este caso, H_2 se considera como altura de la cumbre.

(3) La atenuación total entre los puntos h_T y h_R debida a las dos cumbres es igual a $Ls_1 + Ls_2$.



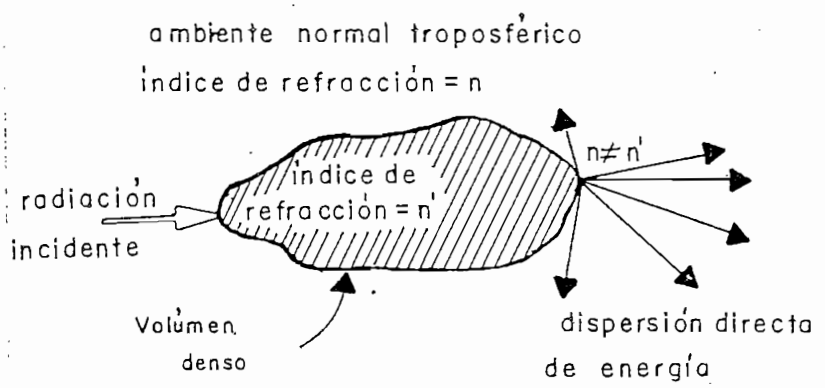
Trayecto obstruído por dos cumbres

FIGURA 4.1.7

4.2 Pérdidas por dispersión

Se han encontrado muchos casos en los que se tienen intensidades de campo eléctrico, en puntos más lejanos al del horizonte radioeléctrico, mayores que los que se puede esperar en base a la teoría de la difracción. Esto se debe, a la existencia en la atmósfera de los llamados

"volúmenes densos" que son zonas, distribuidas al azar, y que contienen "aglomeraciones troposféricas", en las cuales, el índice de refracción varía abruptamente respecto al ambiente. El concepto de "volumen denso" se explica esquemáticamente en la *figura 4.2.1*. Una onda electromagnética incide sobre uno de estos "volúmenes densos", después de haberle atravesado, irradia la energía en forma dispersa. Se debe anotar que, para considerar esta dispersión, las dimensiones del volumen denso deben ser mayores en todas las direcciones, que la longitud de onda utilizada en la transmisión.



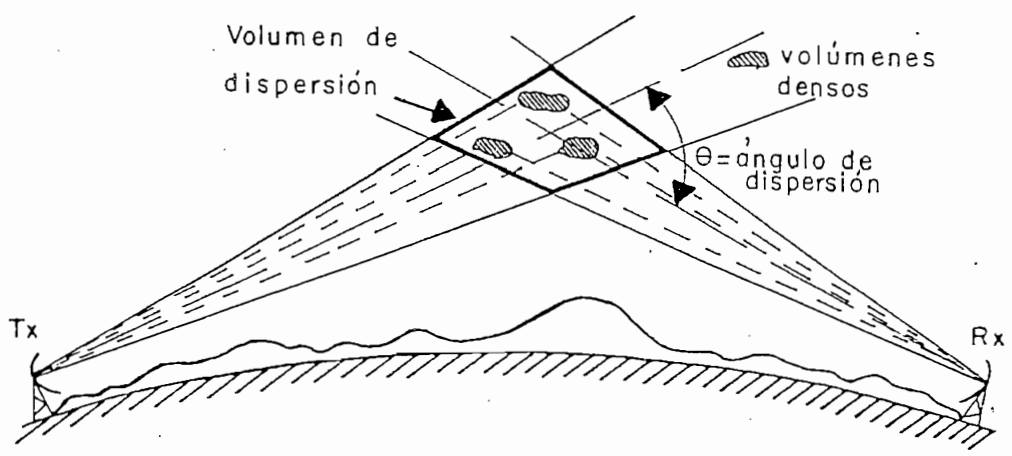
Dispersión de la energía en un Volumen denso

FIGURA 4.2.1

En base a experiencia y a mediciones realizadas en diferentes países, se tiene que, para trayectos con ligera elevación sobre el horizonte o situados sobre un obstáculo o un terreno montañoso, la difracción será en forma general el modo de propagación que determine la intensidad de campo.

Se ha utilizado en forma exitosa en muchas ocasiones para este método de propagación, frecuencias comprendidas entre 100 MHz y 4 GHz, mas, según la experiencia, el rango más adecuado de frecuencias es el de 600 MHz, por lo que, para el presente estudio, solo se hace una descripción de este fenómeno, indicando en forma breve, la manera de calcular la atenuación que produce este fenómeno en la propagación de las ondas radioeléctricas.

En general, el sistema de transmisión y recepción es como el indicado en la **figura 4.2.2.**, en la que se ilustran algunos *"volúmenes densos"*, cada uno de los cuales irradia energía en todas las direcciones. La intensidad total de energía al punto de recepción, será la suma de las energías recibidas de cada uno de estos *"volúmenes densos"*



Propagación por dispersión

FIGURA 4.2.2

La intensidad de campo, al punto de recepción, será débil por la frecuencia elevada, en razón a la distancia involucrada, que es muy grande y por el proceso de dispersión. Debido a estos aspectos, uno de los factores más importantes en el diseño de un enlace a través de la propagación por dispersión, es la consideración de la *"atenuación promedio en la trayectoria"*.

La atenuación promedio de una trayectoria que utiliza propagación por dispersión depende primordialmente de:

a) La frecuencia de transmisión
b) La distancia entre el transmisor y el receptor (considerando la curvatura de la tierra)
c) La fisonomía terrestre entre el transmisor y el receptor
d) Las condiciones climatológicas.

Se ha sugerido una fórmula empírica, que presenta una precisión suficiente, para cálculos prácticos y para determinar la factibilidad económica de un sistema. Según esta sugerencia, la expresión para la atenuación promedio **Lpm** de la trayectoria es:

$$Lpm = La + Ld - 0.2(Ns-310) \quad [dB] \qquad \textbf{(4.2.1)}$$

Donde:

La = Atenuación en el espacio libre (con referen

cia a un irradiador isotrópico

Ld = Atenuación promedio por dispersión

Ns = Promedio anual del valor del índice de refracción sobre la superficie terrestre.

La atenuación en el espacio libre **La** está dada por:

$$La = 32.44+20 \log d[Km]+20 \log f[MHz] \ [dB] \quad (4.2.2)$$

Donde:

d = Distancia entre transmisor y receptor en Km

f = Frecuencia en MHz.

La atenuación promedio por dispersión **Ld** está dada por:

$$Ld = 57+10 \log f \ [MHz]/400+10(\theta-1) \ [dB] \quad (4.2.3)$$

Donde:

θ = Angulo de dispersión en grados (indicado en la **figura 4.2.2**).

En la expresión **(4.2.3)**, θ es mayor que 1°. En caso de ser $\theta<1°$, se acerca a la condición de difracción o a la situación de una transmisión por línea de vista.

La expresión **(4.2.3)** es una fórmula empírica basada en las siguientes observaciones experimentales:

1.- La pérdida por dispersión depende de:

a) La frecuencia

b) El ángulo de dispersión.

2.- La pérdida por dispersión a un ángulo de 1º es 57 dB a una frecuencia de 400 MHz.

El tercer término de la expresión **(4.2.1)**, 0.2(Ns-310) es un factor de corrección a base de la variación del promedio anual del índice de refracción, sobre la superficie de la tierra.

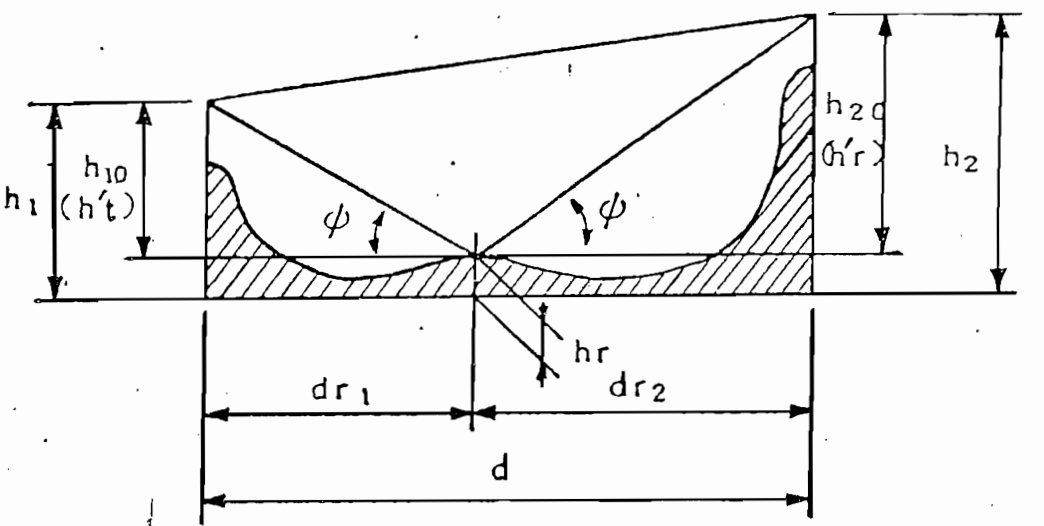
4.3 Pérdidas por reflexión

Como se vió en el ***Capítulo II***, sección 2.1.1.2, la onda reflejada produce cambios en la intensidad de campo que se recibe en un punto, esto es, da valores máximos y mínimos, dependiendo de la diferencia de fase que exista entre la onda directa y la onda reflejada.

En un trayecto de propagación real, es imposible determinar a ciencia cierta los puntos de reflexión que existan, debido a que la configuración de los terrenos sobre los cuales existe la propagación es muy irregular.

Para poder calcular la atenuación producida por las

ondas reflejadas, es necesario asumir la existencia de un solo punto de reflexión (Administración Japonesa, Curso de radiocomunicaciones en VHF y UHF, JIRO KOKAN). Para esto es necesario primero encontrar el punto de reflexión. La distancia entre el punto de transmisión (o recepción) y el de reflexión d_{r1} (d_{r2}), se calcula conforme al modelo del trayecto de propagación mostrado en la *figura 4.3.1*.



Reflexión de la onda en la superficie terrestre

FIGURA 4.3.1

(1) Primero se fija la altura del punto de reflexión (h_r).

(2) $h_{1\infty} = h_1 - h_r$ [m] (4.3.1)

$h_{2\infty} = h_2 - h_r$ [m] (4.3.2)

Donde: h_{10},(h_{20}): Altura de la antena de transmisión (recepción) sobre el nivel del punto de reflexión [m]

h_1,(h_2): Altura de la antena de transmisión (recepción) sobre el nivel del mar [m]

(3)
$$C = \frac{h_{10}-h_{20}}{h_{10}+h_{20}} \qquad (4.3.3)$$

$$m = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2Ka} \times \frac{d^2}{h_{10}+h_{20}} \qquad (4.3.4)$$

En donde: d-> longitud del tramo [Km]

K-> factor del radio efectivo de la tierra

a-> radio verdadero de la tierra= 6370 Km.

(4) Luego se determina el valor del parámetro b en la *figura 4.3.2* utilizando los valores C y m calculados mediante las *ecuaciones (4.3.3) y (4.3.4)*. Sustituyendo b en la *ecuación (4.3.5)*, se tiene:

$$d_{r1} = \frac{d}{2}(1+b) \quad [Km] \qquad (4.3.5)$$

$$d_{r2} = d-d_{r1} \quad [Km] \qquad (4.3.6)$$

En donde d_{r1},(d_{r2}): Distancia entre el punto de transmisión (recepción) y el de reflexión [Km]

El signo del valor **b** es igual que el del valor **C**.

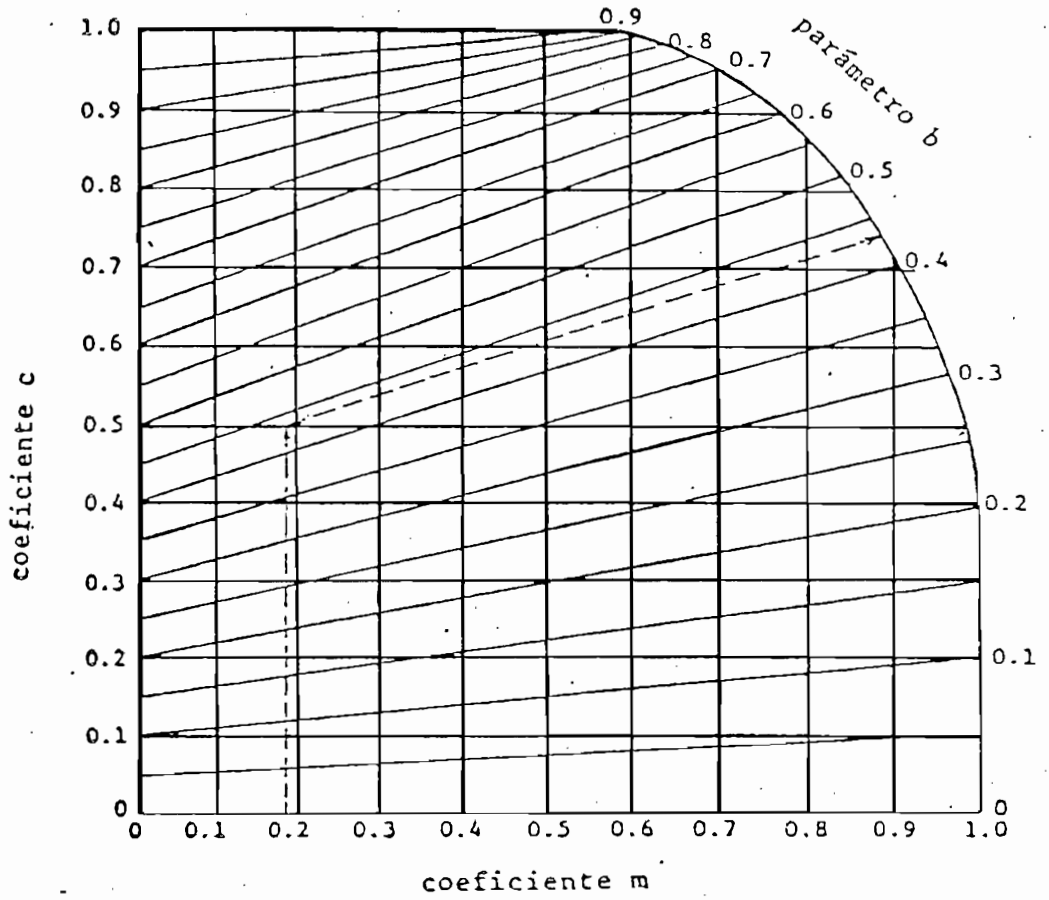


Gráfico para el cálculo del Parámetro b

FIGURA 4.3.2

(5) Posteriormente con un mapa topográfico (preferiblemente escala 1:50.000) se halla la altura del

punto de reflexión lograda mediante la *ecuación (3.4.5)*, y si existe alguna diferencia entre ella y la altura supuesta (h_r), se repiten los cálculos cambiando poco a poco la altura supuesta hasta que la diferencia sea cero.

(6) Una vez obtenido el punto de reflexión debemos tomar en cuenta que este punto de reflexión es el centro del área proyectada en la superficie de la tierra por la primera zona de Fresnel de la onda reflejada, por lo tanto, para establecer la clase de superficie reflectora, debemos conocer las dimensiones de esta área proyectada.

El radio mayor del área reflectora eficaz (dada por la primera zona de Fresnel) T_L se obtiene de la *figura 4.3.3*, donde ψ es el ángulo rasante de la onda reflejada y se lo obtiene de:

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{h_{1e}}{d_{r1}\times 10^{3}}\right) \quad \text{[radianes]} \qquad (4.3.7)$$

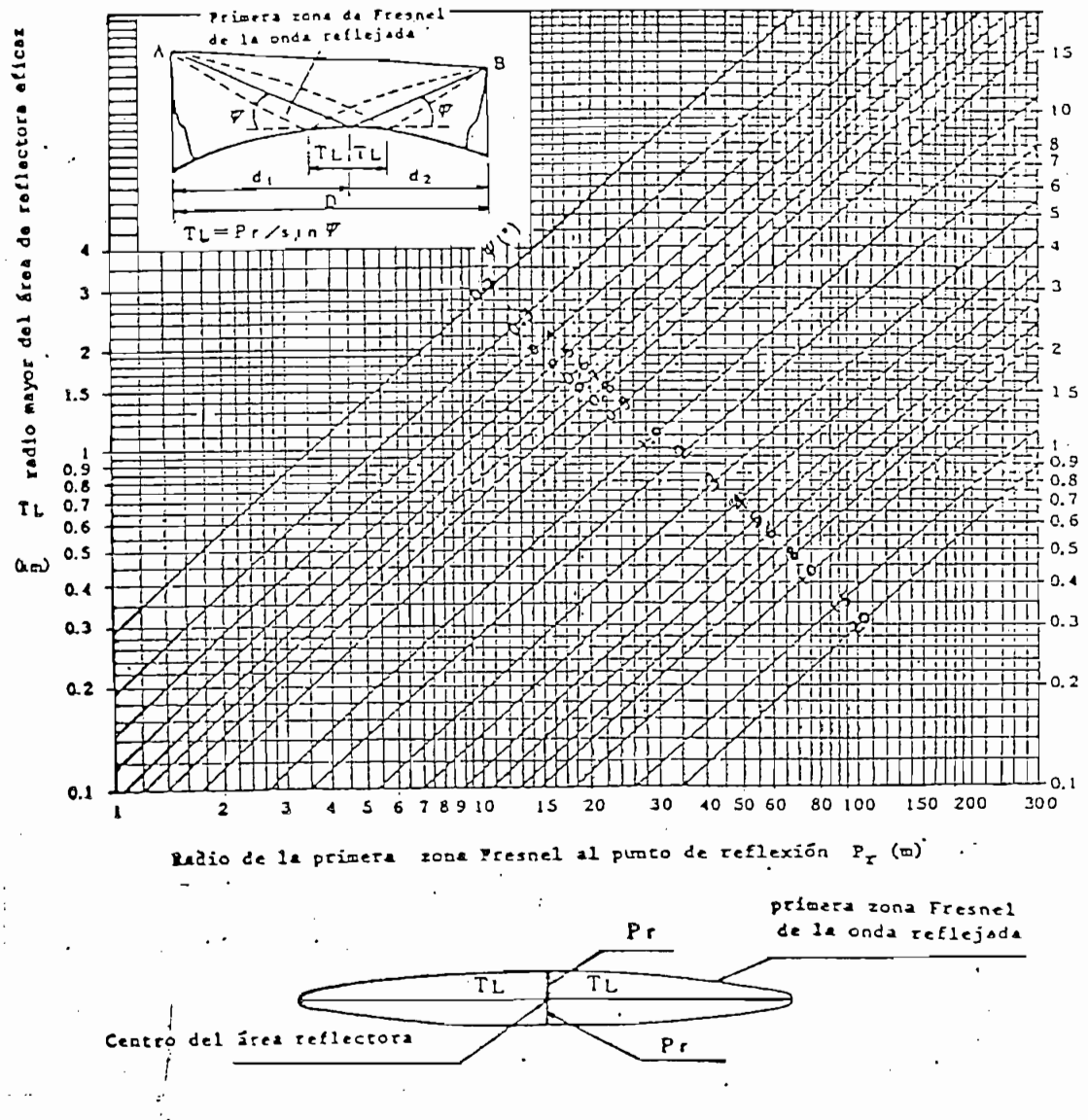


Gráfico para el cálculo del radio mayor de la zona reflectora

FIGURA 4.3.3

Pr (radio de la primera zona de Fresnel) está dado por:

$$Pr = \left[\frac{\lambda d_1 d_2}{d}\right]^{1/2}$$

Donde: λ --> Longitud de onda [m]
d_1 --> Distancia entre el transmisor y el punto de reflexión [m]
d_2 --> Distancia entre el receptor y el punto de reflexión [m]
d --> Distancia total del trayecto

(7) Obtenida el área de reflexión y según el tipo de superficie que contenga esta área, de la *tabla 4.3.1* obtenemos la atenuación por reflexión S.

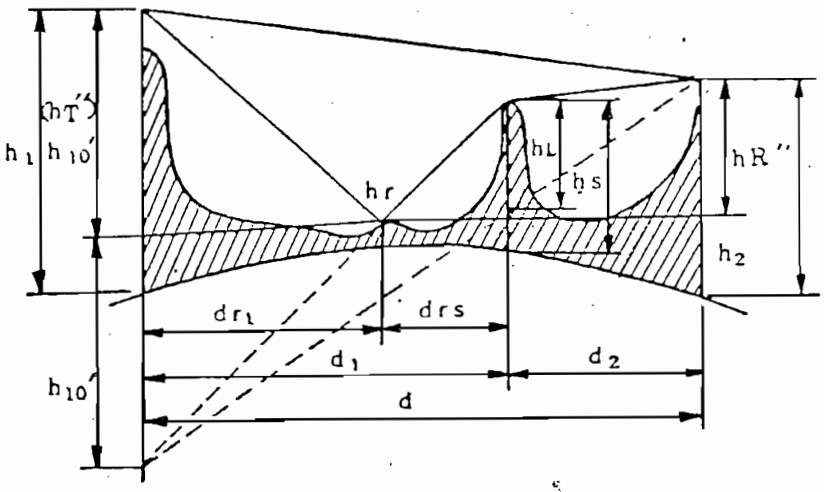
	agua	arrozal	campo seco	Ciudad pequeña y bosque	Ciud. Grande
60 MH_z	0	1	2	5	10
250 MH_z	0	1	3	7	12
400 MH_z	0	1	4	8	14
800 MH_z	0	1	4	9	15

TABLA 4.3.1 Atenuación por reflexión Lr(dB)

Si en el trayecto de la onda reflejada existiera un obstáculo (cumbre) se procede de la siguiente manera:

- Hay que determinar el punto de reflexión, para esto se procede de forma similar al caso anterior, es decir, hay que seguir el procedimiento indicado desde el punto (1) al punto (5). Luego se obtiene de igual manera la atenuación por reflexión **Lr**.

- Como en este caso, la atenuación total S será igual a la atenuación debida a la reflexión **Lr** más la atenuación debida a la cumbre **Ls**; ésta se obtiene de la siguiente manera (de acuerdo a la **figura 4.3.4**):



Obstrucción de una cumbre al trayecto de la onda reflejada

FIGURA 4.3.4

$$h'_{1\varnothing}=h_1-h_r-\frac{d^2_{r1}}{2Ka} \quad [m] \qquad (4.3.8)$$

$$h_L=h_\varnothing-h_2+\frac{d_2}{d}\{h_2-(h_1-2h'_{1\varnothing})\}+\frac{d_1.d_2}{2Ka}[m] \qquad (4.3.9)$$

$$h_\varnothing=\sqrt{\frac{\lambda d_1.d_2}{d}} \quad [m] \qquad (4.3.10)$$

Donde: $h'_{1\varnothing}$: Altura de la antena sobre el nivel del punto de reflexión [m]

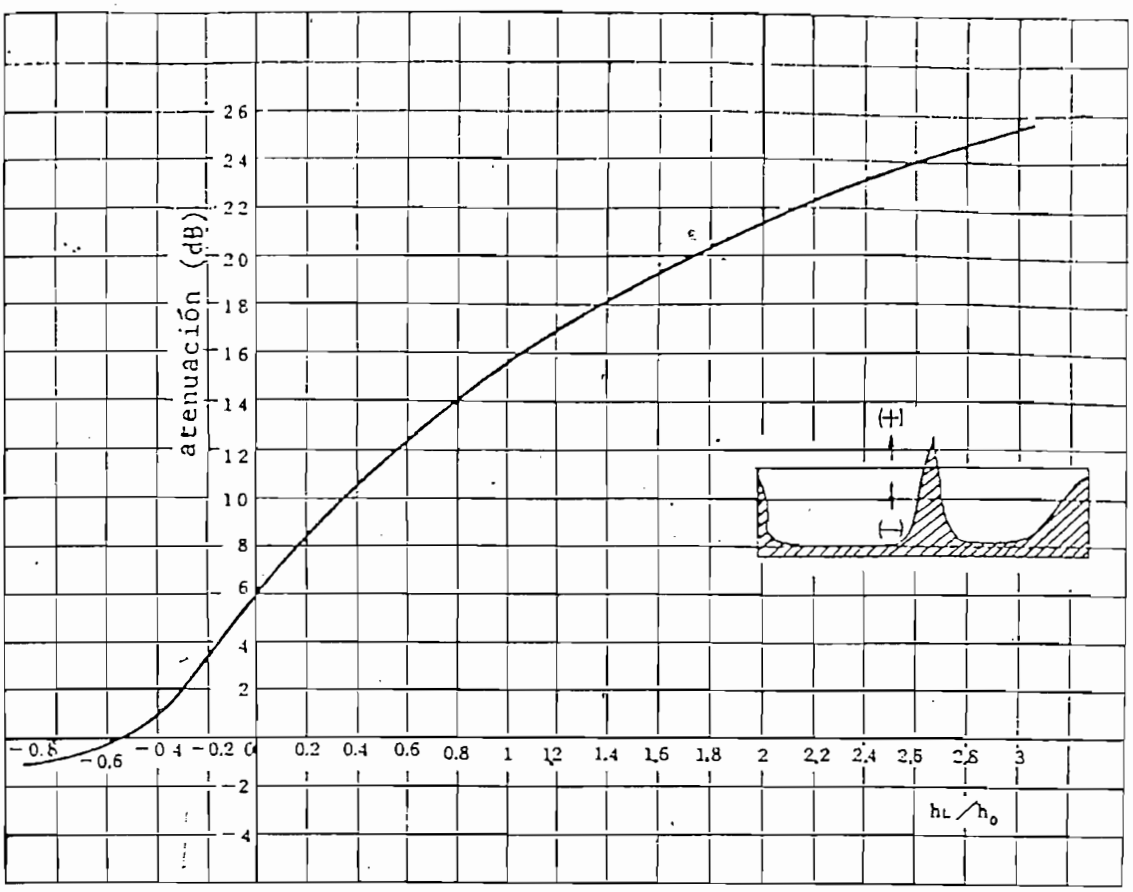
h_L: Altura de obstáculo [m]

$h_\varnothing$: Radio de la primera zona de Fresnel en el punto de obstrucción [m]

Si el valor de $h_L/h_\varnothing$ es inferior a 3 se encuentra la atenuación Ls en la ***figura 4.3.5.***

Si el valor de h_L/h_∞ es superior a 3, se calcula la atenuación Ls utilizando la siguiente ecuación:

$$Ls=20 \log h_L/h_\infty + 16 \quad [dB] \qquad (4.3.11)$$



Atenuación debida a una cumbre

FIGURA 4.3.5

Por lo tanto la atenuación efectiva de la onda reflejada estaría dada por:

$$S=Ls + Lr \quad [dB] \qquad (4.3.12)$$

Para el caso en que existan más de dos obstáculos en el trayecto de la onda reflejada se puede suponer que no existe la onda reflejada por econtrarse completamente bloqueada.

4.4 Pérdidas por el terreno existente en el camino del rayo

En la propagación troposférica de las ondas radioeléctricas entre antenas situadas en ubicaciones arbitrarias, separadas por un terreno irregular, no es posible establecer, con carácter general, la influencia del terreno y de la vegetación en la propagación. Esta influencia es una función compleja de la frecuencia, constantes del suelo, variaciones troposféricas, geometría del trayecto, estación del año y densidad de la vegetación.

La propagación troposférica depende en principio de las características eléctricas del suelo. Esta influencia va aumentando a medida que disminuye la frecuencia. Sin embargo, en las frecuencias más elevadas, a menudo es difícil distinguir el efecto de la falta de homogeneidad de las constantes del suelo, del de las irregularidades del terreno, que predomina cuando las dimensiones de estas últimas son importantes con relación a la longitud de onda.

Muchos de los efectos del terreno y de la tropósfera están íntimamente relacionados entre sí, pero es conveniente distinguirlos en la medida de lo posible. Se han elaborado métodos teóricos para expresar idealmente ciertas particularidades del terreno, tales como acantilados, más o menos escarpados y obstáculos en filo de cuchillo en un trayecto de propagación. Sin embargo, en muchos casos, se tienen serias dificultades para tener en cuenta la rugosidad e irregularidades del terreno, así como los ecos debidos a la proximidad de vegetación, construcciones, puentes y líneas de conducción eléctrica.

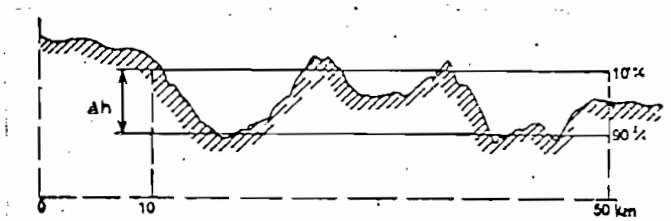
4.4.1 Irregularidades del terreno

La selección al azar, de las ubicaciones de recepción de radiodifusión, en las carreteras o cercas de ellas, así como en los valles, se traduce en valores medianIs de pérdidas de transmisión, mayores que los que se registran en ubicaciones seleccionadas cuidadosamente.

Las irregularidades del terreno aumentan, al principio, la intensidad de campo mediana o prevista, al suprimir la concordancia de fase perjudicial, entre la propagación con visibilidad directa y las ondas reflejadas o difractadas por el suelo. Cuando las

irregularidades y obstáculos del terreno son mayores, las señales se atenúan, por el efecto de sombra por absorción (incluída la atenuación debida a la vegetación) y por dispersión y divergencia o desenfoque, de las ondas difractadas.

La mayoría de las irregularidades del perfil de un terreno no están constituídas por obstáculos aislados, libres de la influencia de colinas y valles cercanos, por lo que, en primera aproximación se puede caracterizar estas irregularidades, mediante el parámetro Δh, que representa la diferencia entre las alturas rebasadas en el 10% y en el 90% del trayecto de propagación comprendido entre 10 Km y 50 Km de distancia desde el transmisor. Véase la ***figura 4.4.1.1***.



Distancia a partir del transmisor

FIGURA: 4.4.1.1

La influencia de las irregularidades del terreno es

tanto mayor cuanto más alta es la frecuencia. Esta influencia es pues, más importante en ondas decimétricas que en ondas métricas.

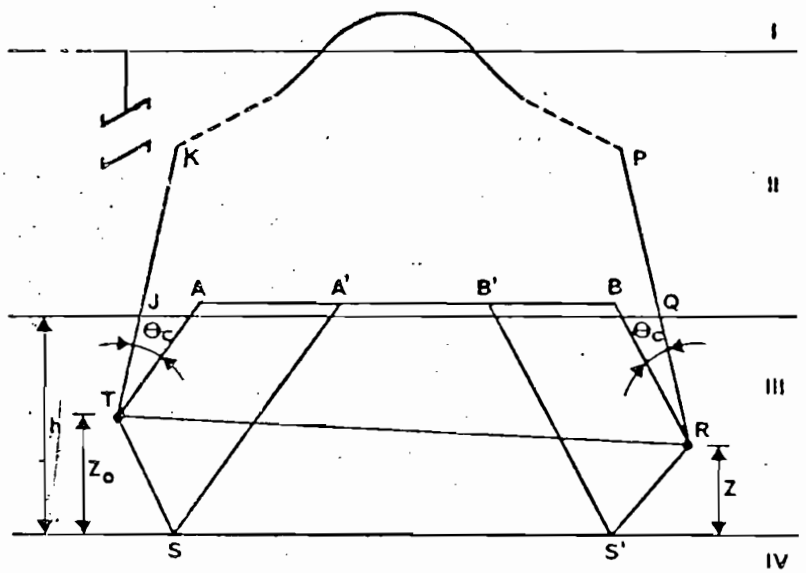
Para el presente estudio, todas las atenuaciones por irregularidades del terreno, vegetació, etc., están incluídas en las curvas de propagación, presentadas en el **Capítulo V**, ya que están hechas en base a mediciones efectuadas dentro de la zona de estudio y la intensidad de campo que se recibe, en los diferentes puntos, es el resultado de la propagación de las ondas por estos trayectos reales.

4.4.2 Vegetación en el trayecto

La vegetación de la selva y de los bosques espesos, que se hallan sobre terreno llano, puede representarse idealmente por la débil franja dieléctrica con pérdidas de la **figura 4.4.2.1** (Informe 236-4, CCIR, Vol V). El espesor de la franja **h**, es la altura efectiva de la vegetación. La franja se caracteriza por un valor medio semiempírico de su constante dieléctrica compleja $\varepsilon'=n^2$, donde **n** es el índice de refracción correspondiente, n_r+jn_i, con $n_r \leq 1$ y $n_i \approx 1$.

Para los trayectos de propagación directos de longitud d en el interior de la franja, la atenuación de transmisión contiene un factor adicional $\exp(-K_0 d\sqrt{\varepsilon'})$, además de la pérdida $1/d^2$, donde $K_0=2\pi/\lambda_0$ y λ_0 es la longitud de onda en el espacio libre.

La reflexión y refracción de las ondas radioeléctricas producidas por el interfaz aire-bosque, conduce al establecimiento de los trayectos de propagación indicados en la ***figura 4.4.2.1***. Para mayores alcances, en ausencia de onda ionosférica, solamente es importante la onda lateral.



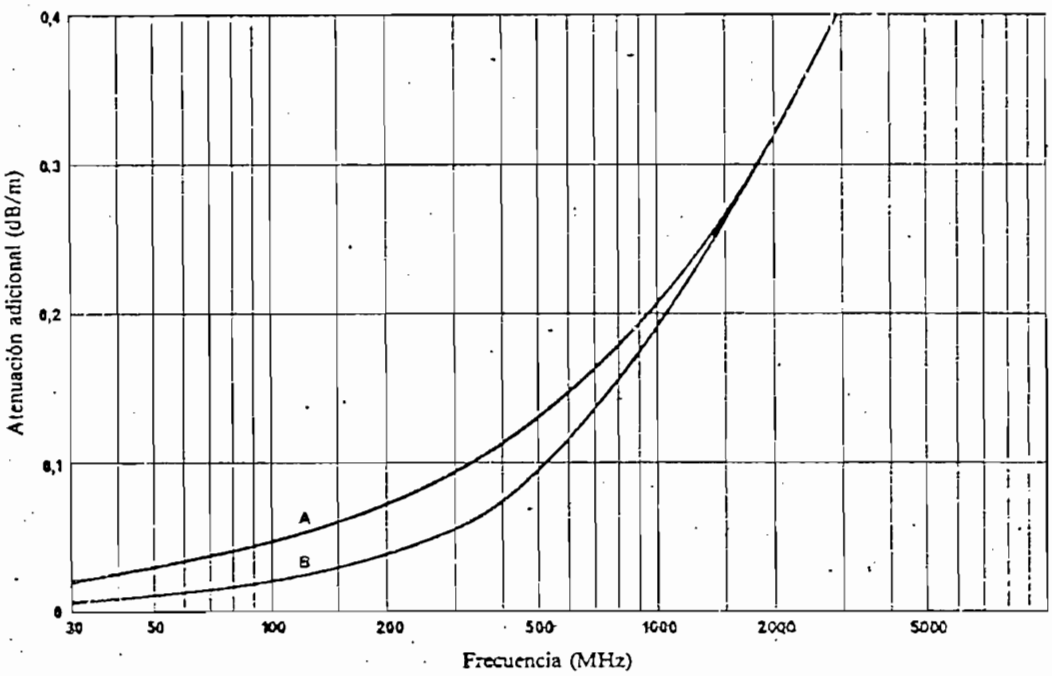
Propagación en una zona forestal

T-R, onda directa; T-S-A'-B-R, T-A-B'-S'-R ondas reflejadas; T-A-B-R onda lateral; T-J-K-P-Q-R onda ionosférica

Las regiones I, II, III, IV representan la ionósfera, la tropósfera, la zona forestal y la tierra, respectivamente

FIGURA 4.4.2.1

La representación formal de los rayos para este mecanismo de propagación incluye la energía de radiación del transmisor T, a una altura $Z_{\omega}<h$, que se propaga con un ángulo rasante $\theta_c=\text{sen}^{-1}(1/\sqrt{\varepsilon'})$, ángulo crítico para el que se produce la reflexión total hacia adentro, en la superficie superior de la franja modelo. Esta energía está asociada a la onda lateral que se propaga a una distancia horizontal **d** con una intensidad de campo proporcional a $1/d^2$, y un flujo de potencia proporcional a $1/d^4$. La validez de este modelo de franja homogénea está limitada por la longitud de onda de la radiación. Por debajo de unos 2 MH_z, la altura del bosque es muy inferior a λ_{ω}, por lo que el bosque tiene una escasa influencia en la onda de superficie. No obstante, mediciones efectuadas en India a 50-800 MH_z para una zona forestal lluviosa, con vegetación de hoja caduca, confirman la ley general de que la potencia de la señal es proporcional a $1/d^4$. Trabajos anteriores, llevan a pensar que en la gama de 30 a 2000 MH_z, la atenuación media adicional a través de un terreno boscoso, $\exp(-K_{\omega}d\sqrt{\varepsilon'})$, expresada en (dB/m), viene dada por la ***figura 4.4.2.2***. Este modelo descrito, se aplica a la intensidad de campo en puntos situados dentro del bosque.



Atenuación media adicional a través de un terreno boscoso

A: Polarización vertical

B: Polarización Horizontal

FIGURA 4.4.2.2

Para confiuraciones en que las antenas transmisoras o receptoras se hallan tan cerca de una arboleda (de menos de 400 m de profundidad) que la mayor parte de las señales se propagan a través de los árboles, la pérdida adicional provocada por los árboles puede obtenerse de la siguiente expresión:

$$L = 0.187\, f^{0.284}\, d^{0.588}$$

Donde L representa la pérdida provocada por la arboleda,

en dB, **f** la frecuencia, en MHz, y **d** la profundidad de la arboleda, en metros. La ecuación resulta aplicable cuando $200 < f < 95000$ MHz.

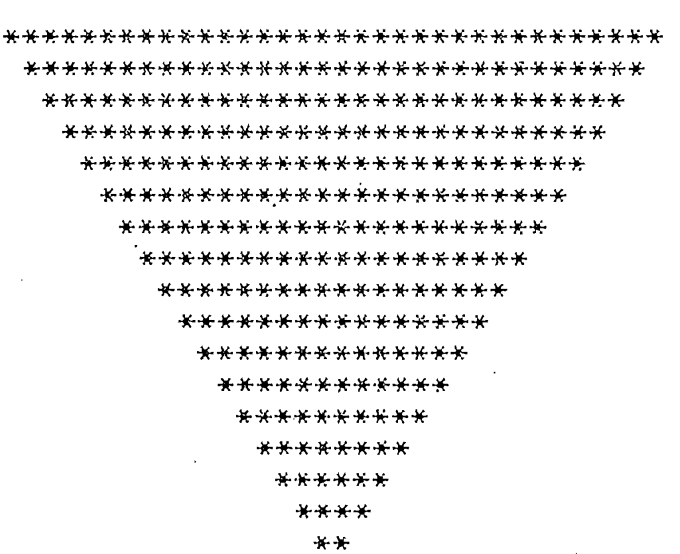
En el caso en que tanto la antena transmisora como la receptora se hallan tan lejos de los árboles que la mayor parte del acoplamiento se produce como resultado de la difracción en el follaje; para predecir esos datos, se utiliza el modelo de difracción en una arista aguda (**Ver Capítulo II - DIFRACCION**), en la hipótesis de que el obstáculo se encuentre en el borde del bosque más cercano a una de las antenas.

En la práctica, se puede considerar que la atenuación debida a la vegetación en el trayecto no rebasa valores de 30 dB para frecuencias inferiores a 500 MHz (Informe 239-4 CCIR, Vol V).

4.4.3 Ciudades existentes en el trayecto

De acuerdo a la experiencia (Informe 239-4 CCIR, Vol V), si las antenas de recepción están suficientemente elevadas con relación a los tejados circundantes, prácticamente no existe atenuación debida a estas edificaciones. Sin embargo, se ha demostrado que las atenuaciones máximas en el centro de una zona urbana son las siguientes: En una zona urbana de 400.000

habitantes, 16 dB a 10 m de altura y 6 dB a 16 m de altura (nivel medio de los tejados); en una zona urbana de 800.000 habitantes, 12 dB a 10 m de altura. En las zonas en que abundan las edificaciones, las intensidades de campo recibidas pueden ser 6 a 16 dB inferiores, según la naturaleza de los edificios.



C A P I T U L O V

EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE ATENUACION

5.1 Mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico.

5.2 Perfiles de los diferentes trayectos.

5.3 Determinación de las clases de trayectos.

5.4 Cálculo de los valores de atenuación para los diferentes trayectos.

EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE ATENUACION

En todos los estudios que se han realizado, para evaluar la atenuación, en diferentes tipos de trayectos de propagación, se ha tenido que realizar mediciones de intensidad de campo a estaciones transmisoras que estén dentro de la banda de frecuencia estudiada en diferentes puntos de los trayectos. Para este caso en particular (ondas VHF), se han tomado como estaciones a medirse las estaciones de televisión de VHF ubicadas en el cerro Pichincha, cuyas principales características (que no han sido dadas en capitulos anteriores), se indican a continuación:

CANAL 2 *(TELEVISION DEL PACIFICO S.A.)*

FRECUENCIAS PORTADORAS:

- Video: 55.25 MHz
- Audio: 59.75 MHz

UBICACION:

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Coorden. Geográf.: 78° 31' 19" W; 00° 09' 51" S
- Altura sobre el nivel del mar: 3.855 m.

TRANSMISOR:

- Marca: EMCEE
- Capacidad de Potencia: 1 Kw.
- Potencia medida: 756 w (Capítulo III)

ANTENA TRANSMISORA:

- Tipo: Arreglo de dos dipolos con reflectores de esquina.
- Polarización: Horizontal
- Altura sobre el suelo: 15 m.
- Ganancia: Dada en Capítulo III
- Diagramas de radiación: Dados en el CapítuloIII

CANAL 4 *(TELEAMAZONAS)*

FRECUENCIAS PORTADORAS:

- Video: 67.25 MHz
- Audio: 71.75 MHz

UBICACION:

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Coorden. Geográf.: 78º 31' 04" W; 00º 10' 09" S
- Altura sobre nivel del mar: 3.520 m.

TRANSMISOR:

- Marca: ECUATRONIX
- Capacidad de Potencia: 4 Kw.
- Potencia medida: 3360 w (Capítulo III)

ANTENA TRANSMISORA:

- Tipo: Arreglo de 4 dipolos con reflectores de esquina.
- Polarización: Horizontal
- Altura sobre el suelo: 30 m.
- Ganancia: Dada en Capítulo III
- Diagramas de radiación: Dados en el Capítulo III

CANAL 8 *(TELEVISORA NACIONAL CIA. LTDA.)*

FRECUENCIAS PORTADORAS:

- Video: 181.25 MHz
- Audio: 185.75 MHz

UBICACION:

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Coorden. Geográf.: 78° 31' 11" W; 00° 10' 01" S
- Altura sobre el nivel del mar: 3.600 m.

TRANSMISOR:

- Marca: HARRIS
- Capacidad de Potencia: 10 Kw.
- Potencia medida: 7.56 Kw. (Capitulo III)

ANTENA TRANSMISORA:

- Tipo: 9 arreglos de 4 dipolos, cada uno con cortinas reflectoras. -
- Polarización: Horizontal
- Altura sobre el suelo: 15 m.
- Ganancia: Dada en el Capítulo III
- Diagramas de radiación: Dados en el Capítulo III

CANAL 10 *(CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION)*

FRECUENCIAS PORTADORAS:

- Video: 193.25 MHz
- Audio: 197.75 MHz

UBICACION:

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Coorden. Geográf.: 78º 31' 19" W; 00º 09' 51" S
- Altura sobre el nivel del mar: 3.850 m.

TRANSMISOR:

- Marca: EMCEE
- Capacidad de Potencia: 1 Kw.
- Potencia medida: 1344 w (Capítulo III)

ANTENA TRANSMISORA:

- Tipo: Arreglo de 6 dipolos con reflectores de es quina.
- Polarización: Horizontal
- Altura sobre el suelo: 12 m.
- Ganancia: Dada en el Capítulo III
- Diagramas de radiación: Dados en el Capítulo III

CANAL 13 *(TELEVISORA ECUATORIANA)*

FRECUENCIAS PORTADORAS:

- Video: 211.25 MHZ
- Audio: 215.75 MHz

UBICACION:

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Coorden. Geográf.: 78º 31' 09" W; 00º 10' 05" S
- Altura sobre el nivel del mar: 3.557 m.

TRANSMISOR:

- Marca: ECUATRONIX
- Capacidad de Potencia: 1 Kw.
- Potencia medida: 1.008 w. (Capítulo III)

ANTENA TRANSMISORA:

- Tipo: Arreglo de 4 dipolos con reflectores de esquina.
- Polarización: Horizontal
- Altura sobre el suelo: 28 m.
- Ganancia: Dada en el Capítulo III
- Diagramas de radiación: Dados en el Capítulo III

5.1 Mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico

En general, las mediciones de intensidad de campo obedecen a una o mas de las siguientes finalidades:

- Describir la zona de cobertura de una estación.

- Determinar si una señal radioeléctrica responde a las exigencias de un servicio dado.

- Determinar los riesgos potenciales de interferencias de una emisión.

- Determinar la eficacia de una fuente emisora en lo que se refiere a la señal deseada o a la medida en que se suprimen las emisiones no deseadas.

- Comprobar el diagrama de directividad y la potencia radiada por una antena transmisora.

- Proporcionar datos que permitan aumentar los conocimientos que se poseen sobre las condiciones de propagación en las bandas consideradas.

Al efectuarse las mediciones deben cumplirse las condiciones siguientes:

- Es preciso que se puedan reproducir fácilmente las mediciones, con objeto de poder comprobarlas ulteriormente en caso necesario.

- El procedimiento empleado debe facilitar de modo eficiente la información necesaria.

- El método utilizado no debe presentar riesgos ni ser demasiado costoso.

Existen varios métodos de mediciones de intensidad de campo, siendo el mejor (el ideal), el de hacer un regis-

tro continuo de la intensidad de campo con un vehiculo equipado, generalmente, de un aparato de registro automático de cinta de papel, acoplado mecánicamente a las ruedas del vehiculo, con una antena omnidireccional a una altura normalizada de 10 m., aunque en general no es conveniente usar esta altura de antena en trayectos de carreteras, en donde existen hilos aéreos, árboles, etc.

En el presente estudio, no ha sido posible realizar registros contínuos de intensidad de campo en carreteras, principalmente por no contar con el equipo apropiado, por lo que se ha procedido a tomar muestras puntuales a lo largo de diferentes trayectos (radiales).

Se han tomado cinco trayectos diferentes para realizar las mediciones, principalmente considerando la existencia de vías de acceso a los puntos de medición y trayectos que den una idea de los diferentes tipos de terrenos existentes en la provincia de Pichincha. Estos trayectos, y los puntos de medición en ellos, se presentan en el mapa 1.

Los equipos utilizados (y sus principales características), en todas las mediciones, son los siguientes:

1) UN MEDIDOR DE INTENSIDAD DE CAMPO

- Marca: ROHDE&SCHWARZ
- Modelo: HFU-2
- Rango de frecuencia: 25 a 1000 MHz
- Error de medición (incluyendo antena): < ± 3 dB

Está compuesto de los siguientes elementos:

1 Receptor de Prueba VHF-UHF

- Marca: ROHDE&SCHWARZ
- Modelo: ESU-2
- Rango de frecuencia: 25 a 1000 MHz en 9 subrangos
- Impedancia de entrada: 50
- Rango de medición: -10 a +120 dB(uV)
- Error de medición: ≤ ± 1dB

2 Antenas

Dipolo de Banda ancha

- Marca: ROHDE&SCHWARZ
- Modelo: HFU2-Z1
- Rango de frecuencia: 25 a 80 MHz
- Impedancia: 50
- VSWR: < 2
- Factor k: 7.5 a 14 dB dependiendo de la frecuencia **(figura:3.2.2.2)**

- Dimensiones: 3 m. de longitud, 0.8 m. desmont.
- Peso: 2.5 Kg.

Log-periódica de Banda ancha

- Marca: ROHDE&SCHWARZ
- Modelo: HLO-23
- Rango de frecuencia: 80 a 1300 MHz
- Impedancia: 50
- VSWR: < 2 desde 80 a 100 MHz
- Factor k: 2.5 a 23 entre 80 y 100 MHz **(figura: 3.2.2.5)**
- Dimensiones: 1.7m longitud, 2m ancho; 1.7x0.5m desmontada
- Peso: 6 Kg.

1 Mástil de Antena

- Altura de antena en al mástil: Ajustable entre 1 y 3.6 m.
- Plano de Polarización: Ajustable libremente
- Azimut: Ajustable libremente
- Angulo de elevación: Ajustable en ±30° desde la horizontal
- Dimensiones: Desmontado 1.65 m. de longitud
- Peso: 20 Kg.
- Material: Fibra de vidrio

1 Tripode

- Dimensiones: 0.9 m. de longitud, 0.22 m. de diámetro (retráctil)

- Peso: 9 Kg.

1 Cable de RF (HFU22-Z3)

- Impedancia: 50
- Longitud: 5 m.
- Curva de atenuación: ***(figura:3.3.2.2)***

2) PARLANTE

- Marca: TAKEDA
- Impedancia: 8

3) CONTADOR DE FRECUENCIA

- Marca: PHILIPS
- Modelo: PM 6668
- Rango de frecuencia: 10 Hz a 1 GHz

4) TELEVISOR

- Marca: SONY
- Modelo: KV-8100

5) ALTIMETRO

- Marca: GISCARD
- Rango: Hasta 5000 m.

6) BRUJULA

7) PLANTA ELECTRICA

- Marca: HONDA
- Modelo: EG 1500
- Potencia: 1.5 Kw.

Los equipos mencionados fueron utilizados dentro de un vehículo tipo JEEP (doble tracción) y para cada medición se disponía de la carta topográfica del lugar a una escala 1:50000 elaborada por el Instituto Geográfico Militar.

Del medidor de intensidad de campo se tiene la lectura de la tensión de entrada en el receptor (Vin) a la que hay que sumar el factor de antena (k) para obtener el valor de intensidad de campo (E).

En las mediciones realizadas en la Provincia de Pichincha se han obtenido los datos consignados en los cuadros siguientes:

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 1 / 24º
NOMBRE: Occident. (Col Los Pinos)
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 29' 45" W; 00º 08' 36" S
ALTURA s.n.m.: 2830 m.

DISTANCIA: 4 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18º c

FECHA: 1985-02-04

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	82	92.6	13:14	
4	67.25	85	95.1	13.10	
8	181.25	92	101.7	12:20	
10	193.25	84	94.2	12:25	
13	211.25	89	99.9	12:30	

Observaciones del lugar: Bosques en el trayecto. Cielo despejado

PUNTO: 2 / 24º
NOMBRE: San Carlos.
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 29' 40" W; 00º 07' 50" S
ALTURA s.n.m.: 2.830 m.

DISTANCIA: 5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 25ºc

FECHA: 1985-05-08

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	78	88.6	12.52	
4	67.25	72	82.1	12:48	
8	181.25	98	107.7	12:33	
10	193.25	75	85.2	12:36	
13	211.25	84	94.9	12:43	

Observaciones del lugar: Dentro de urbanización, líneas de energía cercanas.

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 3 / 24°
NOMBRE: Bodegas del B.E.V.
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 30' 06" W; 00° 07' 29" S
ALTURA s.n.m.: 2.840 m.

DISTANCIA: 5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 13°c

FECHA: 1985-02-04

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	76	86.6	15:30	
4	67.25	63	73.1	15:32	
8	181.25	84	93.7	15:05	
10	193.25	85	95.2	15:03	
13	211.25	73	83.9	15:00	

Observaciones del lugar: Cielo despejado. Bosques en el trayecto. No es posible ver las antenas Sobre la ciudad.

PUNTO: 4 / 24°
NOMBRE: El Condado.
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 29' 36" W; 00° 06' 03" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 8 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18°

FECHA: 1985-06-12

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	67	77.6	12:50	
4	67.25	43	53.1	13:55	
8	181.25	61	70.7	12:30	
10	193.25	66	76.2	11:35	
13	211.25	59	69.9	12:45	

Observaciones del lugar: Cielo despejado. Hay linea de vista dentro de la ciudad. Construcciones bajas, bosque en el trayecto.

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 5 / 24º
NOMBRE: Colegio Militar Nuevo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 28' 57" W; 00º 05' 00" S
ALTURA s.n.m.: 2.650 m.

DISTANCIA: 10 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 14º c

FECHA: 1985-02-27

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	62	72.6	16:26	
4	67.25	53	63.1	16:28	
8	181.25	87	96.7	16:16	
10	193.25	84	94.2	16:14	
13	211.25	74	84.9	16:12	

Observaciones del lugar: Ambiente nublado. Sector despejado y seco

PUNTO: 6 / 24º
NOMBRE: Pomasqui
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 27' 13" W; 00º 03' 15" S
ALTURA s.n.m.: 2.500 m.

DISTANCIA: 14 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 17ºc

FECHA: 1985-02-13

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	57	67.6	14:55	
4	67.25	52	62.1	14:50	
8	181.25	76	85.7	14:18	
10	193.25	72	82.2	14:10	
13	211.25	62	72.9	14:00	

Observaciones del lugar: Cerca a quebrada.

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 7 / 24º
NOMBRE: San Antonio de Pichincha
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 27' 05" W; 00º 00' 32" S
ALTURA s.n.m.: 2.450 m.

DISTANCIA: 19 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 13ºc

FECHA: 1985-02-27

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	40	50.6	15:32	
4	67.25	34	44.1	15:30	
8	181.25	47	56.7	15:14	
10	193.25	44	54.2	15:12	
13	211.25	32	42.9	15:10	

Observaciones del lugar: Lugar seco despejado junto a montaña. Viento fuerte.

PUNTO: 8 / 24º
NOMBRE: Santo Domingo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 26' 23" W; 00º 01' 05" N
ALTURA s.n.m.: 2.420 m.

DISTANCIA: 22 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18ºc

FECHA: 1985-03-01

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	56	66.6	14:02	
4	67.25	54	64.1	14:05	
8	181.25	74	83.7	13:24	
10	193.25	72	82.2	13:20	
13	211.25	62.5	73.4	13:15	

Observaciones del lugar: Lugar seco y despejado. Cielo despejado

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 9 / 24°
NOMBRE: Camino a Perucho
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 26' 02" W; 00° 01' 58" N
ALTURA s.n.m.: 2.500 m.

DISTANCIA: 24 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 12°c

FECHA: 1985-02-27

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	43	53.6	13:50	
4	67.25	43	53.1	13:55	
8	181.25	48	57.7	13:30	
10	193.25	37	47.2	13:28	
13	211.25	29	39.9	13:25	

Observaciones del lugar: Terreno seco y montañoso.

PUNTO: 10 / 24°
NOMBRE: Chilcapamba
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 24' 09" W; 00° 05' 51" N
ALTURA s.n.m.: 2.210 m.

DISTANCIA: 32 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 17°c

FECHA: 1985-03-04

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	47.5	58.1	14:20	
4	67.25	37	47.1	14:24	
8	181.25	62.5	72.2	13:24	
10	193.25	60	70.2	13:18	
13	211.25	51	61.9	13:13	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo, frente a pendiente.

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 11 / 24º
NOMBRE: Perucho
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 25' 11" W; 00º 06' 41" N
ALTURA s.n.m.: 1.920 m.

DISTANCIA: 32Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 22ºc

FECHA: 1985-02-28

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25				No se puede medir.
4	67.25	15	25.1	15:20	
8	181.25	22	31.7	14:50	
10	193.25	15	25.2	14:48	
13	211.25	12	22.9	14:45	

Observaciones del lugar: Terreno en recepción; húmedo, muy irregular.

PUNTO: 12 / 24º
NOMBRE: San Ramón
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 22' 49" W; 00º 09' 18" N
ALTURA s.n.m.: 2.300 m.

DISTANCIA: 38 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 16ºc

FECHA: 1985-02-28

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	42	52.6	13:42	
4	67.25	47	57.1	13:40	
8	181.25	68.5	78.2	13:15	
10	193.25	57	67.2	13:10	
13	211.25	50	60.9	13:05	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo. Cima de montaña.

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 1 / 55°
NOMBRE: Club Bolos (FAE)
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 29' 00" W; 00° 08' 51" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 26°c

FECHA: 1985-05-06

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	81.5	92.1	12:31	
4	67.25	93	103.1	12:33	
8	181.25	85.5	95.2	12:20	
10	193.25	73.5	83.7	12:22	
13	211.25	84	94.9	12:24	

Observaciones del lugar: Dentro de la ciudad. Cerca a aeropuerto. Edificaciones pequeñas.

PUNTO: 2 / 55°
NOMBRE: El Carmen
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 26' 54" W; 00° 06' 54" S
ALTURA s.n.m.: 2.670 m.

DISTANCIA: 10 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 16°c

FECHA: 1985-02-26

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	58	68.6	17:00	
4	67.25	63	73.1	17:02	
8	181.25	48	57.7	16:37	
10	193.25	48	58.2	16:33	
13	211.25	48	58.9	16:30	

Observaciones del lugar: Tras montaña (no hay linea de vista). Cielo despejado. Lugar entre bosques

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 3 / 55º
NOMBRE: Calderón
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 25' 43" W; 00º 06' 03" S
ALTURA s.n.m.: 2.660 m.

DISTANCIA: 12.2 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 28ºc

FECHA: 1984-08-21

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	64	74.6	15:17	
4	67.25	58	68.1	15:12	
8	181.25	83	92.7	14:40	
10	193.25	78	88.2	14:36	
13	211.25	80	90.9	14:30	

Observaciones del lugar: Terreno seco plano. Cerca lineas de transmisión eléctrica.

PUNTO: 4 / 55º
NOMBRE: Cushingeros
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 25' 34" W; 00º 02' 20" S
ALTURA s.n.m.: 2.850 m.

DISTANCIA: 18 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 17ºc

FECHA: 1985-03-28

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	68	78.6	15:11	
4	67.25	75	85.1	15:15	
8	181.25	81	90.7	14:45	
10	193.25	62	72.2	14:47	
13	211.25	70	80.9	14:50	

Observaciones del lugar: Sitio elevado. Se puede divisar las antenas. Terreno seco pero con sembríos

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 5 / 55º
NOMBRE: Subida a Guayllabamba
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 22' 16" W; 00º 04' 36" S
ALTURA s.n.m.: 2.150 m.

DISTANCIA: 20.5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 22º c

FECHA: 1985-02-26

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	29	39.6	15:40	
4	67.25	47	57.1	15:35	
8	181.25	44	53.7	15:07	
10	193.25	34	44.2	15:03	
13	211.25	36	46.9	15:00	

Observaciones del lugar: Terreno seco, a mitad de subida y frente a encañonado.

PUNTO: 6 / 55º
NOMBRE: Guayllabamba
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 21' 05" W; 00º 03' 10" S
ALTURA s.n.m.: 2.200 m.

DISTANCIA: 22.5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 28ºc

FECHA: 1984-08-21

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	64	74.6	17:29	
4	67.25	61	71.1	17:16	
8	181.25	81	90.7	17:05	
10	193.25	74	84.2	16:55	
13	211.25	77	87.9	16:50	

Observaciones del lugar: Sector entre árboles

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 7 / 55º
NOMBRE: Peña buitrera (Guayll.)
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 18' 24" W; 00º 00' 08" S
ALTURA s.n.m.: 2.450 m.

DISTANCIA: 30 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 28ºc

FECHA: 1985-02-26

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	63	73.6	13:26	
4	67.25	76	86.1	13:15	
8	181.25	80	89.7	13:05	
10	193.25	68	78.2	12:55	
13	211.25	70	80.9	12:45	

Observaciones del lugar: Delante de una peña alta.

PUNTO: 8 / 55º
NOMBRE: Tabacundo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 13' 34" W; 00º 02' 52" N
ALTURA s.n.m.: 2.840 m.

DISTANCIA: 40.5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18ºc

FECHA: 1984-08-27

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	53	63.6	14:00	
4	67.25	39	49.1	14:04	
8	181.25	72	81.7	13:19	
10	193.25	61	71.2	13:15	
13	211.25	63	73.9	13:10	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo e irregular

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 9 / 55º
NOMBRE: Ayora
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 08' 26" W; 00º 03' 31" N
ALTURA s.n.m.: 2.830 m.

DISTANCIA: 50 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 13ºc

FECHA: 1984-08-27

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	49	59.6	16:45	
4	67.25	44	54.1	16:52	
8	181.25	65	74.7	16:08	
10	193.25	57	67.2	16:02	
13	211.25	61	71.9	15:55	

Observaciones del lugar: Lugar húmedo entre pequeñas edificaciones

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 1 / 85º
NOMBRE: Plaza Benalcázar (La Y)
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 28' 57" W; 00º 09' 43" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 4.0 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 24ºc

FECHA: 1985-05-09

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	82	92.6	14:30	
4	67.25	90	100.1	14:32	
8	181.25	93	102.7	13:40	
10	193.25	75	85.2	13:45	
13	211.25	73	83.9	13:47	

Observaciones del lugar: Edificios bajos cercanos. Dentro de ciudad. Sitio residencial

PUNTO: 2 / 85º
NOMBRE: Av. Amazonas (Jipijapa)
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 28' 51" W; 00º 09' 28" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 4.0 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 22ºc

FECHA: 1985-05-03

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	79	89.6	14:27	
4	67.25	90	100.1	14:32	
8	181.25	92	101.7	14:12	
10	193.25	68	78.2	14:20	
13	211.25	83	93.9	14:23	

Observaciones del lugar: Dentro de la ciudad. Edificaciones cercanas de mediana altura

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 3 / 85°
NOMBRE: Discoteca 2001
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 28' 24" W; 00° 10' 04" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 25°c

FECHA: 1985-05-08

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	80	90.6	14:50	
4	67.25	91	101.1	14:56	
8	181.25	82	91.7	15:07	
10	193.25	76	86.2	15:12	
13	211.25	83	93.9	15:15	

Observaciones del lugar: Dentro de la ciudad. Zona residencial. Edificaciones medianas

PUNTO: 4 / 85°
NOMBRE: Mecánica de la Policía
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 28' 28" W; 00° 09' 45" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 20°c

FECHA: 1985-05-09

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	71	81.6	15:19	
4	67.25	76	86.1	15:17	
8	181.25	89	98.7	15:11	
10	193.25	79	89.2	15:09	
13	211.25	83	93.9	15:07	

Observaciones del lugar: Sitio dentro de la ciudad. Construcciones cercanas. Fábricas cercanas

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 5 / 85°
NOMBRE: Redondel El Inca
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 28' 29" W; 00° 09' 05" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 5.5 Km.
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 26°c

FECHA: 1985-05-06

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	83	93.6	13:34	
4	67.25	91	101.6	13:36	
8	181.25	87	96.7	13:21	
10	193.25	71	81.2	13:19	
13	211.25	77	87.9	13:17	

Observaciones del lugar: El tráfico es intenso. Hay linea de vista. Cielo despejado

PUNTO: 6 / 85°
NOMBRE: Collaquí
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 23' 43" W; 00° 10' 04" S
ALTURA s.n.m.: 2.280 m.

DISTANCIA: 13 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18°

FECHA: 1985-08-22

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	74	84.6	12:35	
4	67.25	79	89.1	12:38	
8	181.25	84	93.7	12:08	
10	193.25	79	89.2	12:06	
13	211.25	80	90.9	12:03	

Observaciones del lugar: Terreno casi llano, húmedo. Cielo despejado

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 7 / 85º
NOMBRE: Puembo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 28' 01" W; 00º 09' 58" S
ALTURA s.n.m.: 2.400 m.

DISTANCIA: 18 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 16ºc

FECHA: 1985-08-22

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	65	75.6	15:39	
4	67.25	70.5	80.6	15.43	
8	181.25	77	86.7	14:51	
10	193.25	73	83.2	14:46	
13	211.25	72	82.9	14:42	

Observaciones del lugar: Terreno montañoso, húmedo

PUNTO: 8 / 85º
NOMBRE: Yaruquí
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 19' 06" W; 00º 09' 03" S
ALTURA s.n.m.: 2.600 m.

DISTANCIA: 22.5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 16ºc

FECHA: 1984-08-23

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	61	71.6	16:01	
4	67.25	59	69.1	16:07	
8	181.25	76	85.7	15:22	
10	193.25	75	85.2	15:18	
13	211.25	76	86.9	15:15	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo e irregular. Hace viento. Cielo despejado

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 9 / 85°
NOMBRE: El Quinche
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 17' 28" W; 00° 06' 36" S
ALTURA s.n.m.: 2.650 m.

DISTANCIA: 26 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18°c

FECHA: 1984-08-30

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	64	74.6	14:10	
4	67.25	68	78.1	14:16	
8	181.25	78	87.7	13:30	
10	193.25	73	83.2	13:20	
13	211.25	75	85.9	13:10	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo e irregular. Sitio elevado sobre la poblacion

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 1 / 110º
NOMBRE: La Carolina
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 28' 42" W; 00º 10' 40" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 4.5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 14ºc

FECHA: 1985-02-04

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	84	94.6	15:54	
4	67.25	95	105.1	16:00	
8	181.25	93	102.7	16:12	
10	193.25	81	91.2	16:16	
13	211.25	80	90.9	16:20	

Observaciones del lugar: Sitio despejado. Parque dentro de ciudad.

PUNTO: 2 / 110º
NOMBRE: Quito, atras del MAG
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 29' 07" W; 00º 11' 29" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 22ºc

FECHA: 1985-04-30

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	84.5	95.1	13:03	
4	67.25	95	105.1	13:01	
8	181.25	94.5	104.2	12:46	
10	193.25	81.5	91.7	12:49	
13	211.25	80	90.9	12:50	

Observaciones del lugar: Terreno desocupado dentro de ciudad. Edificios cercanos altos

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 3 / 110°
NOMBRE: Cumbayá
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 26' 11" W; 00° 10' 37" S
ALTURA s.n.m.: 2.460 m.

DISTANCIA: 10 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18°c

FECHA: 1984-08-20

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	41	51.6	16:14	
4	67.25	45	55.1	16:10	
8	181.25	49	58.7	15:35	
10	193.25	54	64.2	15:27	
13	211.25	46	56.9	15:20	

Observaciones del lugar: Terreno apto para agricultura. Irregular. Arboles altos en zona de recepción

PUNTO: 4 / 110°
NOMBRE: Tumbaco
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 24' 58" W; 00° 12' 29" S
ALTURA s.n.m.: 2.370 m.

DISTANCIA: 12.5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 24°c

FECHA: 1984-08-02

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	75	85.6	14:30	
4	67.25	81	91.1	14:35	
8	181.25	79	88.7	14:43	
10	193.25	82	92.2	14:55	
13	211.25	78	88.9	15:05	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo, bosque alto

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 5 / 110º
NOMBRE: Pimán
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 23' 17" W; 00º 12' 47" S
ALTURA s.n.m.: 2.350 m.

DISTANCIA: 15 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 20ºc

FECHA: 1984-08-19

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	69	79.6	13:12	
4	67.25	78	88.1	13:50	
8	181.25	80	89.7	12:36	
10	193.25	76.5	86.7	12:34	
13	211.25	76	86.9	12:31	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo, irregular en el trayecto.. Cielo despejado

PUNTO: 6 / 110º
NOMBRE: Pifo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 20' 48" W; 00º 13' 16" S
ALTURA s.n.m.: 2.600 m.

DISTANCIA: 20 kM
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 26ºc

FECHA: 1984-08-23

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	68	78.6	14:30	
4	67.25	61	71.1	14:36	
8	181.25	81	90.7	13:38	
10	193.25	75	85.2	13:31	
13	211.25	70	80.9	13:28	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo cerca a carretera. Cielo despejado

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 7 / 110º
NOMBRE: Mulaucu
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 18' 25" W; 00º 14' 50" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 25 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 16ºc

FECHA: 1984-08-19

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	63	73.6	15:31	
4	67.25	66	76.1	15:35	
8	181.25	72	81.7	14:48	
10	193.25	72	82.2	14:44	
13	211.25	64	74.9	14:41	

Observaciones del lugar: Junto a carretera. Cielo despejado. Montaña atras del punto de recepción

PUNTO: 8 / 110º
NOMBRE: Cochaucu
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 15' 42" W; 00º 15' 42" S
ALTURA s.n.m.: 3.400 m.

DISTANCIA: 30 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 13ºc

FECHA: 1984-08-21

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	55	65.6	16:02	
4	67.25	60	70.1	16:04	
8	181.25	66	75.7	15:21	
10	193.25	67	77.2	15:18	
13	211.25	63	73.9	15:16	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo muy irregular. Páramo

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 9 / 110º
NOMBRE: S/N
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 13' 29" W; 00º 18' 12" S
ALTURA s.n.m.: 3.800 m.

DISTANCIA: 35 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 10ºc

FECHA: 1984-08-21

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	54	64.6	13:31	
4	67.25	55	65.1	13:33	
8	181.25	61	70.7	12:50	
10	193.25	62	72.2	12:46	
13	211.25	58	68.9	12:44	

Observaciones del lugar: Páramo montañoso. Junto a carretera. Tráfico pesado

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 1 / 188º
NOMBRE: Cima Panecillo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 30' 58" W; 00º 13' 32" S
ALTURA s.n.m.: 3.000 m.

DISTANCIA: 7 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 20º

FECHA: 1985-06-18

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	77	87.6	13:59	
4	67.25	79	89.1	13:56	
8	181.25	88	97.7	12:58	
10	193.25	83	93.2	12:55	
13	211.25	83	93.9	12:52	

Observaciones del lugar: Tras cima de montaña. Cielo nublado, hay lineas de energia a 50 m y árboles

PUNTO: 2 / 188º
NOMBRE: La Magdalena
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 31' 45" W; 00º 14' 18" S
ALTURA s.n.m.: 2.840 m.

DISTANCIA: 8 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 18ºc

FECHA: 1985-06-20

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	45	55.6	15:25	
4	67.25	56	66.1	15:23	
8	181.25	55	64.7	14:50	
10	193.25	53	63.2	14:47	
13	211.25	53	63.9	14:45	

Observaciones del lugar: Lugar dentro de ciudad. Edificaciones de mediana altura (2 y 3 pisos) cercanas

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 3 / 188°
NOMBRE: Chillogallo
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 32' 24" W; 00° 15' 18" S
ALTURA s.n.m.:

DISTANCIA: 10 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA:

FECHA: 1984-06-12

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	55	65.6	16:25	
4	67.25	66	76.1	16:30	
8	181.25	64	73.7	16:10	
10	193.25	52	62.2	16:15	
13	211.25	56	66.9	16:20	

Observaciones del lugar: Sitio desocupado y plano. Terreno húmedo. Cielo despejado

PUNTO: 4 / 188°
NOMBRE: San Vicente
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 32' 55" W; 00° 19' 36" S
ALTURA s.n.m.: 3.020 m.

DISTANCIA: 18 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 14°c

FECHA: 1985-06-14

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	63	73.6	15:02	
4	67.25	68	78.1	15:04	
8	181.25	74	83.7	13:17	
10	193.25	74	84.2	13:14	
13	211.25	69	79.9	13:10	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo. Junto a carretera. Hay viento

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 5 / 188º
NOMBRE: Cutuglagua
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 32' 49" W; 00º 21' 43" S
ALTURA s.n.m.: 3.100 m.

DISTANCIA: 22 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 14º c

FECHA: 1984-01-07

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	66	76.6	13:18	
4	67.25	78	88.1	13:22	
8	181.25	86	95.7	12:43	
10	193.25	81	91.2	12:40	
13	211.25	79	89.9	12:30	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo. Delante de elevación

PUNTO: 6 / 188º
NOMBRE: Santa Rosa
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 32' 55" W; 00º 22' 45" S
ALTURA s.n.m.: 3.000 m.

DISTANCIA: 24 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 12ºc

FECHA: 1985-06-14

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	50	60.6	17:22	
4	67.25	56.5	66.6	17:25	
8	181.25	64.5	74.2	16:47	
10	193.25	63	73.2	16:43	
13	211.25	63	73.9	16:41	

Observaciones del lugar: Sobre montaña. Terreno húmedo y junto a carretera

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 7 / 188°
NOMBRE: Carretera Tambillo-Aloag
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 33' 08" W; 00° 25' 27" S
ALTURA s.n.m.: 2.800 m.

DISTANCIA: 29 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 15°c

FECHA: 1985-05-17

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	53	63.6	13:01	
4	67.25	54	64.1	13:04	
8	181.25	65	74.7	12:53	
10	193.25	63	73.2	12:50	
13	211.25	59	69.9	12:48	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo. Junto a carretera. Hay montañas

PUNTO: 8 / 188°
NOMBRE: Aloag
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 33' 50" W; 00° 27' 34" S
ALTURA s.n.m.: 2.850 m.

DISTANCIA: 32.5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 12°c

FECHA: 1984-08-24

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	42	52.6	17:00	
4	67.25	39	49.1	16:50	
8	181.25	65	74.7	16:07	
10	193.25	63	73.2	16:03	
13	211.25	52	62.9	15:55	

Observaciones del lugar: Sitio desocupado entre casas bajas (1 piso)

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 9 / 188°
NOMBRE: San Agustín
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 38' 52" W; 00° 26' 39" S
ALTURA s.n.m.: 2.900 m.

DISTANCIA: 34 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 15°c

FECHA: 1984-08-24

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	(30)		14:20	Se mide ruido porque no se escucha el audio.
4	67.25	6	16.6	14:27	
8	181.25	20	29.7	13:45	
10	193.25			13:38	No se puede medir.
13	211.25			13:30	No se puede

Observaciones del lugar: Sitio encañonado junto a carretera. Hay neblina

PUNTO: 10 / 188°
NOMBRE: Cerca a Machachi
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 34' 07" W; 00° 29' 15" S
ALTURA s.n.m.: 2.920 m.

DISTANCIA: 36 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 14°c

FECHA: 1985-06-17

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	50	60.6	15:49	
4	67.25	53	63.1	15:51	
8	181.25	63	72.7	14:56	
10	193.25	62.5	72.7	14:54	
13	211.25	61	71.9	14:51	

Observaciones del lugar: Junto a carretera. Hay bosques en el trayecto. Terreno húmedo

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 11 / 188°
NOMBRE: Ungua
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 34' 39" W; 00° 31' 18" S
ALTURA s.n.m.: 3.000 m.

DISTANCIA: 40 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA: 14°c

FECHA: 1985-06-21

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	55	65.6	14:42	
4	67.25	56	66.1	14:45	
8	181.25	62.5	72.2	13:43	
10	193.25	60	70.2	13:40	
13	211.25	57	67.9	13:37	

Observaciones del lugar: Terreno húmedo y cultivado. Junto a carretera. Cielo nublado

PUNTO: 12 / 188°
NOMBRE: Loma LLana Larga
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78° 35' 48" W; 00° 34' 47" S
ALTURA s.n.m.: 3.260 m.

DISTANCIA: 46.5 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA:

FECHA: 1984-07-13

CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	66	76.6	14:05	
4	67.25	78	88.1	14:15	
8	181.25	70	79.7	13:35	
10	193.25	68	78.2	13:45	
13	211.25	66	76.9	13:55	

Observaciones del lugar: Cielo Nublado. Ligera lovizna delante de montaña. Terreno húmedo

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO
ESTACIONES DE TELEVISION PROVINCIA DE PICHINCHA

PUNTO: 13 / 188º
NOMBRE: Chaupiloma
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
78º 35' 55" W; 00º 37' 17" S
ALTURA s.n.m.: 3.490 m.

DISTANCIA: 51 Km
(Desde los transmisores)
TEMPERATURA:

FECHA: 1984-07-13

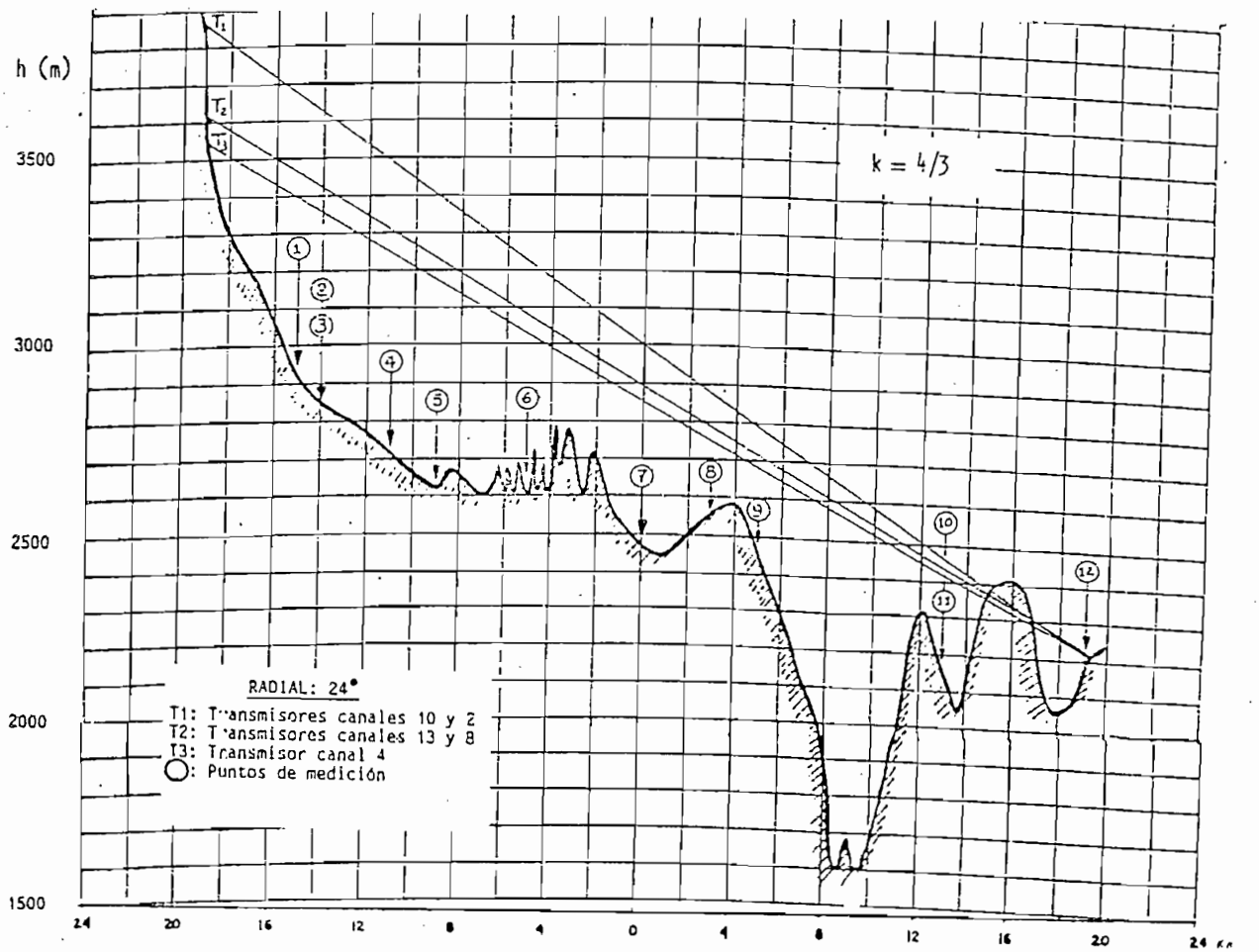
CANAL	FRECUENCIA VIDEO (MHz)	TENSION ENTRADA RECEPTOR (dBu)	INTENSIDAD DE CAMPO (dBu)	HORA	OBSERVACIONES DURANTE MEDICION
2	55.25	42	52.6	17:25	
4	67.25	52	62.1	17:35	
8	181.25	63	72.7	16:45	
10	193.25	56	66.2	16:55	
13	211.25	54	64.9	17:05	

Observaciones del lugar: Sitio elevado. Pajonales alrededor. Terreno irregular

5.2 Perfiles de los diferentes trayectos

En este punto y a continuación, se presentan los perfiles de los 5 trayectos tomados para este estudio, se presenta el perfil del radial completo para mayor comodidad en la presentación, aunque, para la realización de las curvas que se presentan en el punto 5.4 se ha hecho el análisis con los perfiles de los trayectos individuales de cada punto de medición.

Las alturas utilizadas para la elaboración de estos perfiles han sido tomadas de cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar de escala 1 a 50.000. Las cartas usadas son: ***Calacalí, Mojanda, Cayambe, Nono, El Quinche, Cangahua, Quito, Sangolquí, Amaguaña, Pintag, Machachi.***



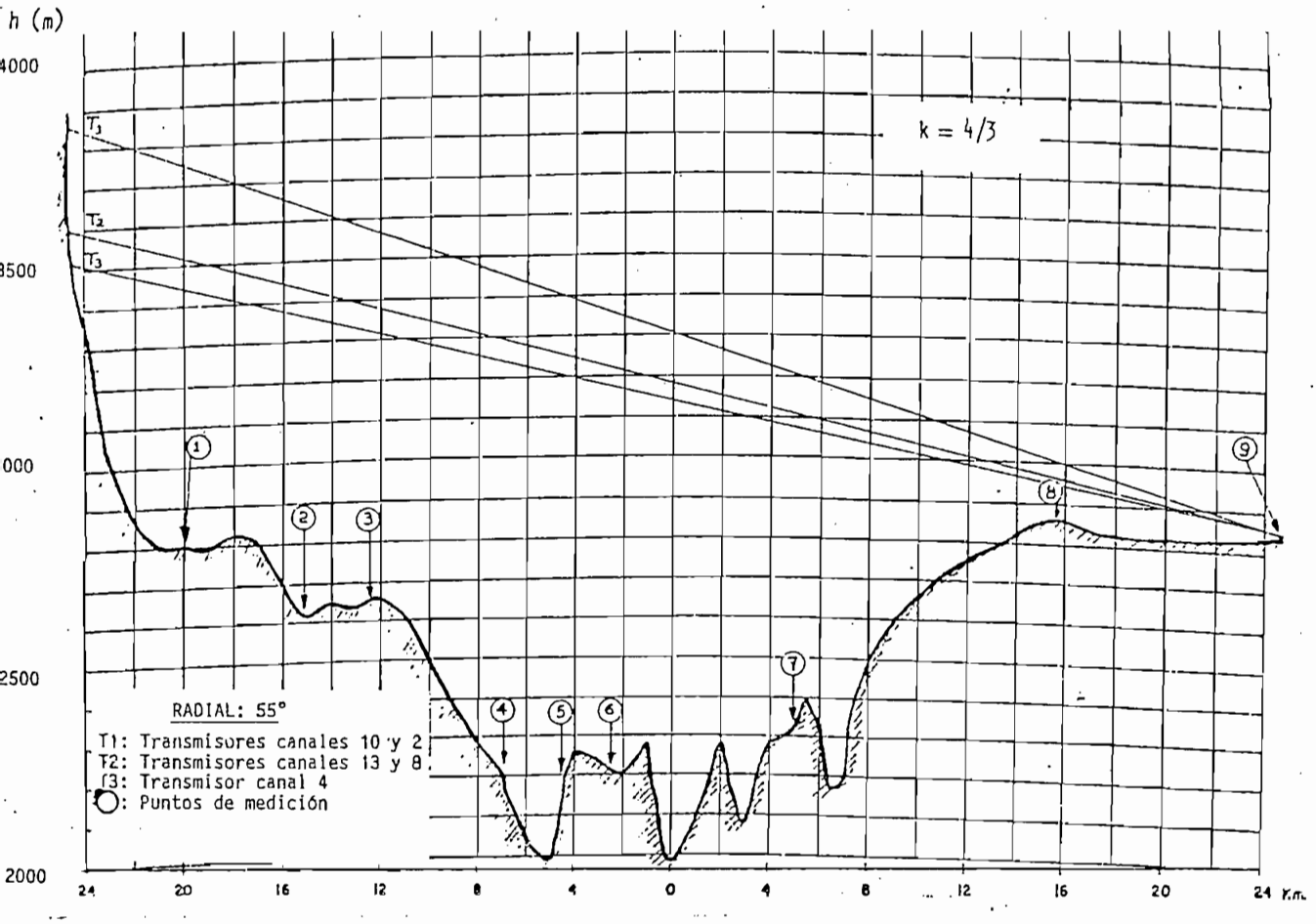


FIGURA 5.2.2

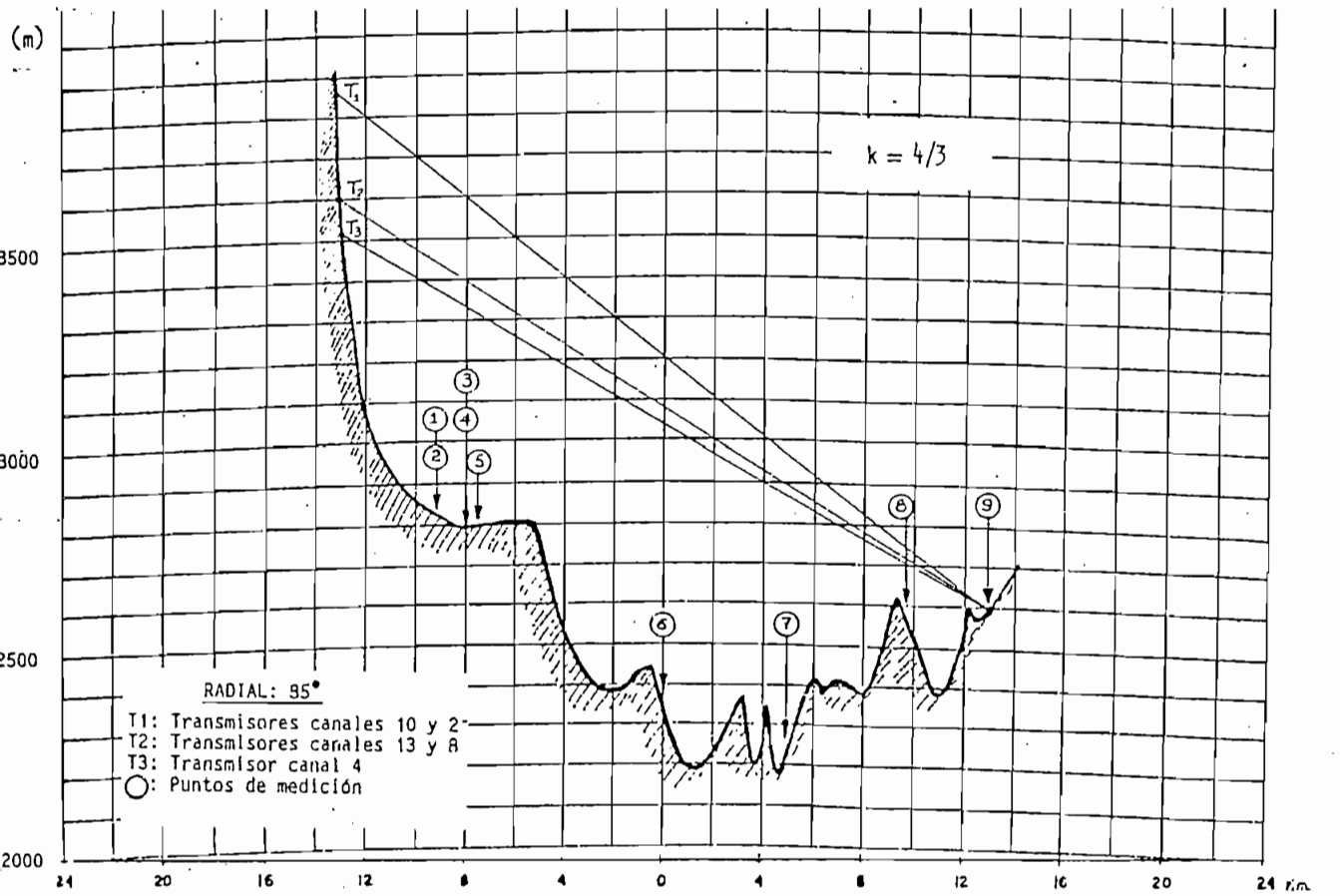


FIGURA 5.2.3

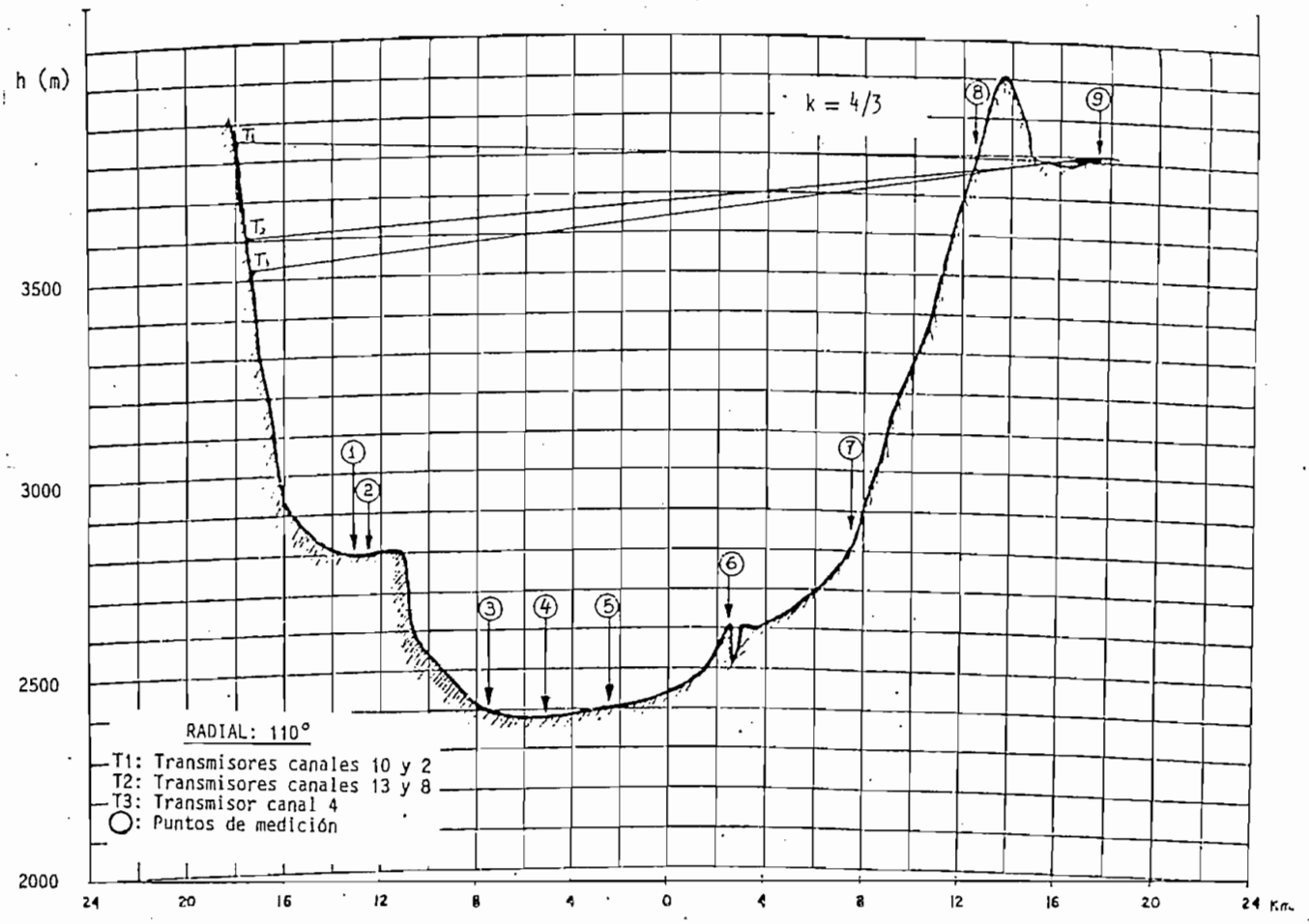
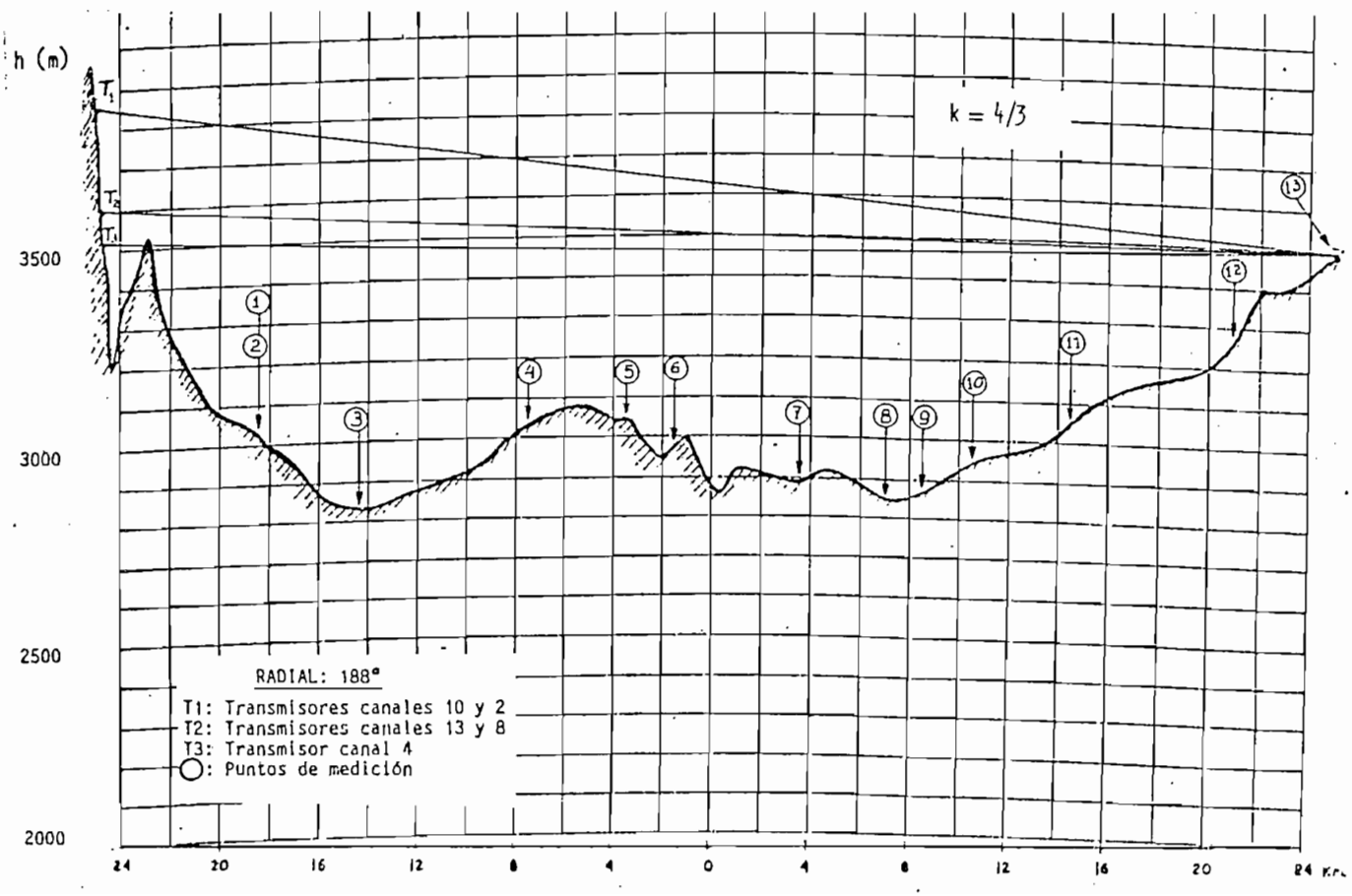

h (m)
k = 4/3
T1
T2
T3
3500
3000
2500
2000
24
20
16
12
8
4
0
4
8
12
16
20
24 Km
RADIAL: 110°
T1: Transmisores canales 10 y 2
T2: Transmisores canales 13 y 8
T3: Transmisor canal 4
: Puntos de medición

FIGURA 5.2.4


h (m)
k = 4/3
T1
T2
T3
3500
3000
2500
2000
24
20
16
12
8
4
0
4
8
12
16
20
24 Km
RADIAL: 188°
T1: Transmisores canales 10 y 2
T2: Transmisores canales 13 y 8
T3: Transmisor canal 4
: Puntos de medición

5.3 Determinación de las clases de Trayectos

En los perfiles topográficos presentados en el punto 5.2 se puede apreciar los lugares en donde se han tomado las mediciones (marcados con los números correspondientes). Para la realización de las curvas, se hace un análisis particular de cada punto de medición.

Para clasificar los trayectos se usarán dos parámetros que serán los datos iniciales con los cuales se podrán usar las curvas de propagación. Estos parámetros serán: Altura de la antena transmisora y $\triangle h$ del trayecto.

Altura de la Antena Transmisora

La altura de la antena transmisora se define por la altura de esta antena sobre el nivel medio del terreno entre las distancias de 3 y de 15 Km a partir del transmisor, en dirección del receptor.

De acuerdo a lo expresado, la altura de la antena transmisora se determina para cada trayecto, obteniéndose las siguientes alturas:

RADIAL	ALTURA DE ANTENA EN METROS				
	CANAL 2	CANAL 4	CANAL 8	CANAL 10	CANAL 13
24º	1130	810	875	1120	845
55º	1160	840	900	1150	870
85º	1290	970	1040	1280	1010
110º	1320	1000	1070	1310	1040
188º	870	550	620	860	590

Tabla 5.3.1

Δh del trayecto

Para tomar en consideración el grado de irregularidad de un trayecto de propagación, en el capítulo anterior se ha definido el parámetro Δh como la diferencia entre las alturas rebasadas en el 10% y en el 90% del trayecto de propagación comprendido entre 10 Km y 50 Km desde el transmisor. Para el presente estudio se establece el valor de Δh en las distancias entre 10 Km desde el transmisor y el último punto de medición, por cuanto la mayoría de trayectos no alcanzan los 50 Km.

Los valores Δh establecidos para cada trayecto son:

RADIAL	Δh (m)
24°	950
55°	700
85°	350
110°	1300
188°	530

Tabla 5.3.2

5.4 Cálculo de los Valores de Atenuación para los Diferentes Trayectos

En el campo de Ingeniería de Comunicaciones , ofrece mayor comodidad, el trabajar con curvas de propagación antes que con valores de atenuación (especialmente en el caso de Radiodifusión), por lo que, de acuerdo a los cuadros de medición (punto 5.1) se proponen las curvas mostradas en las *figuras 5.4.31 a 5.4.35*, las mismas que se han realizado bajo los parámetros de altura de antena transmisora y Δh del trayecto indicados en las mismas curvas.

Para la realización de las curvas de intensidad de campo (de propagación), se ha seguido el siguiente procedimiento:

- Se han tomado los valores de intensidad de campo de cada uno de los puntos de medición (punto 5.1) y se los ha dibujado en papel semilogarítmico para cada canal de televisión.

- Se ha obtenido la ganancia de cada antena transmisora en cada una de las direcciones. Suponiendo que a 1 Km de dis-

tancia del transmisor no se tiene pérdidas, se ha calculado la intensidad de campo en el espacio libre a esta distancia, de cada transmisor, y este valor se ha dibujado también para cada canal de televisión en el papel semilogarítmico, obteniéndose así las curvas de las **figuras 5.4.1** a **5.4.35.**

Los valores de intensidad de campo a 1 Km fueron calculados debido a que es imposible las mediciones a 1 Km de los transmisores estudiados por no tener acceso a esos puntos.

- Una vez obtenidas las curvas hasta la **figura 5.4.35,** para que éstas sean de uso general se las ha normalizado para una potencia efectiva radiada de 1 Kw.

Para esto se calcula el valor de intensidad de campo en el espacio libre que se tiene a un Km con una potencia efectiva radiada de 1 Kw, que en dBu es el valor de 104.77 dBu y se hace pasar a las curvas por este valor, quedando de esta manera las presentadas en las **figuras 5.4.36** a **5.4.40,** dadas para cada uno de los trayectos.

- Como se puede apreciar en las **figuras 5.4.36** a **5.4.40,** los canales de televisión en frecuencias mas elevadas son los que menor atenuación sufren y se encuentra marcada diferencia con los canales de frecuencias mas bajas; por este motivo se ha tomado un promedio de las curvas de los canales altos y de los canales bajos obteniéndose de esta manera dos curvas de propagación para cada radial que dependen de la frecuencia de transmisión. De esta manera se han obtenido las curvas dadas en las **figuras 5.4.41** a **5.4.45.**

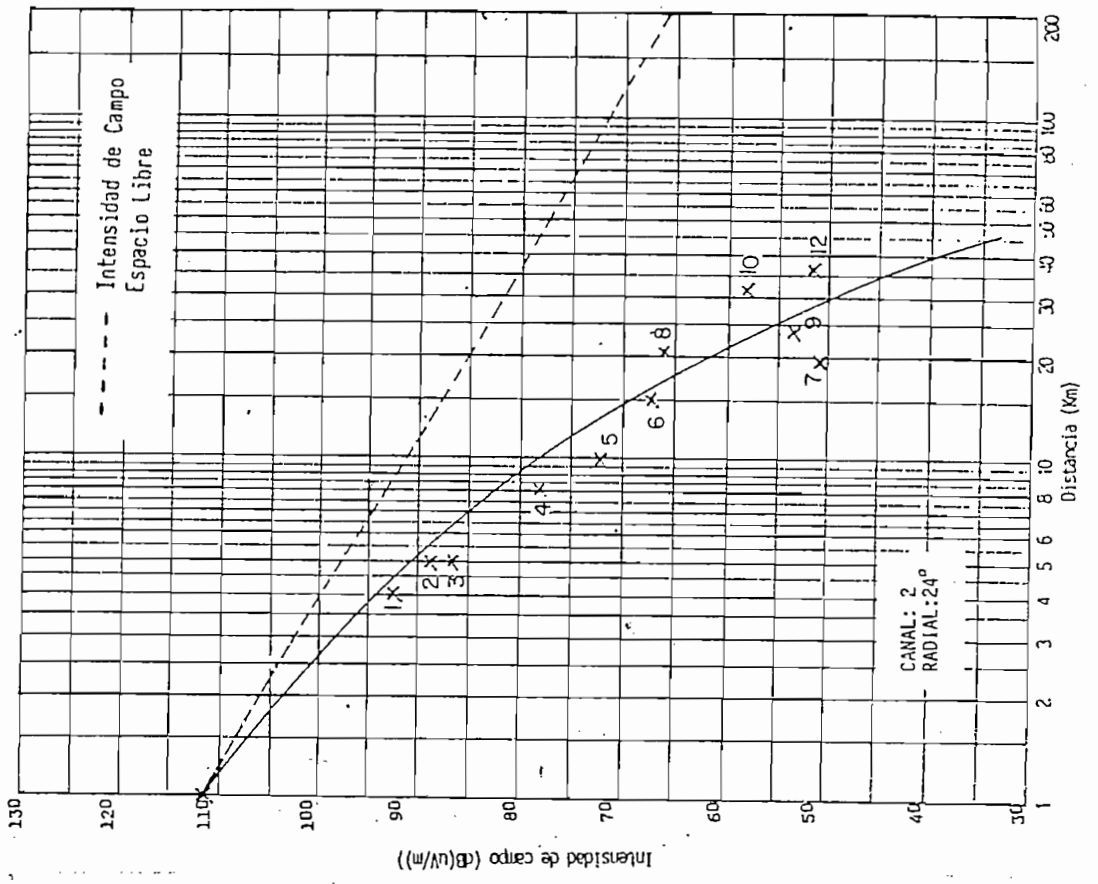


FIGURA 5.4.1

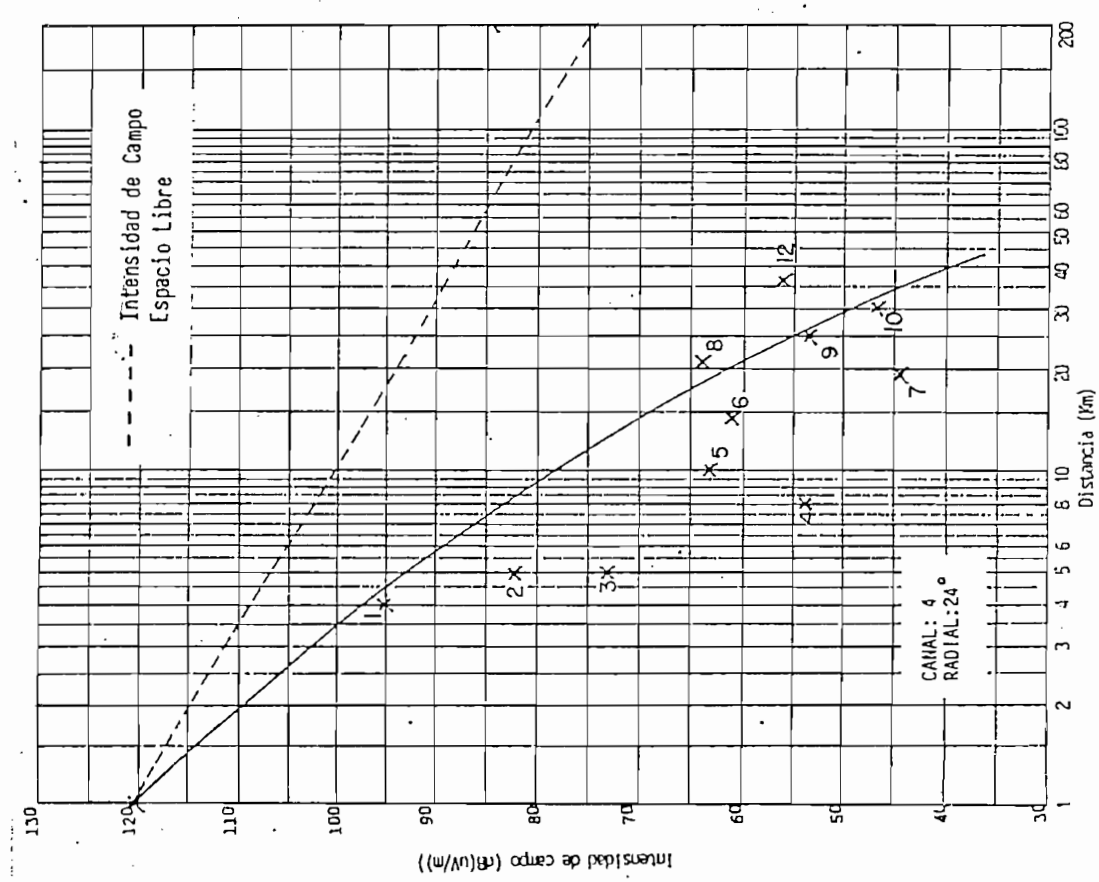


FIGURA 5.4.2

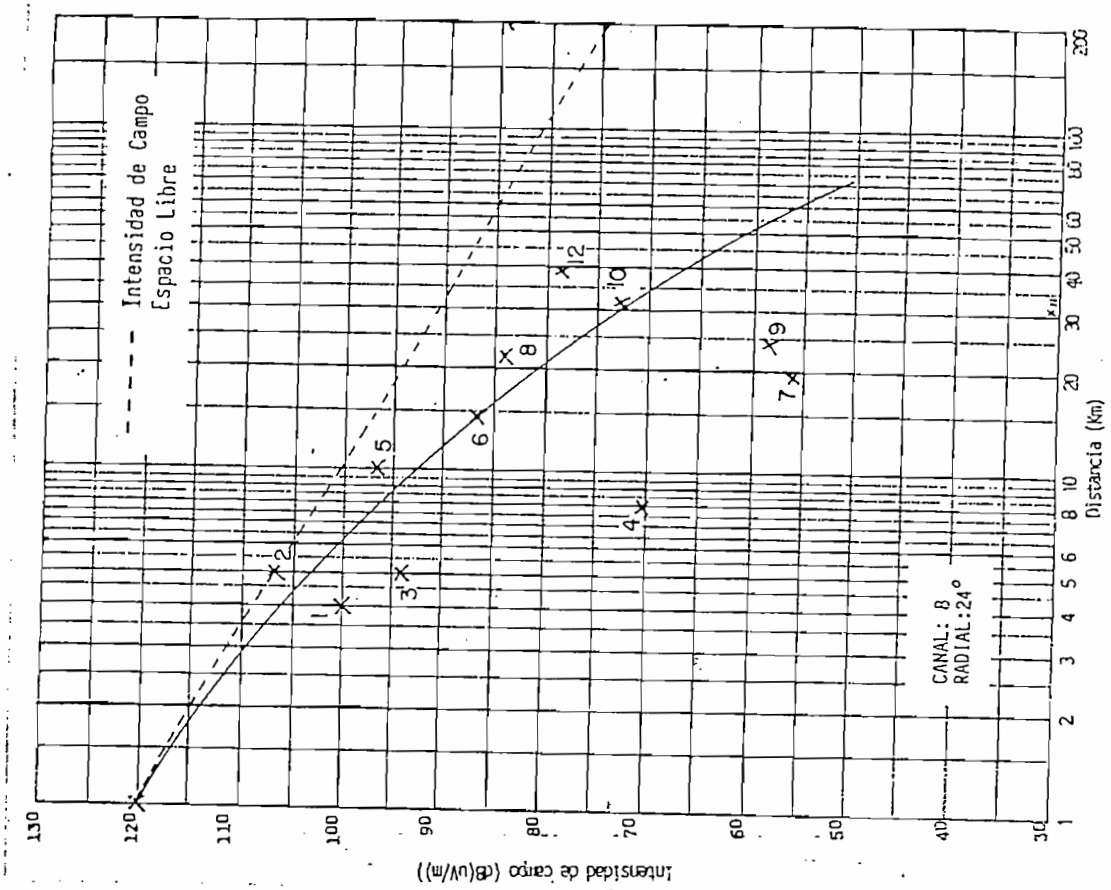


FIGURA 5.4.3

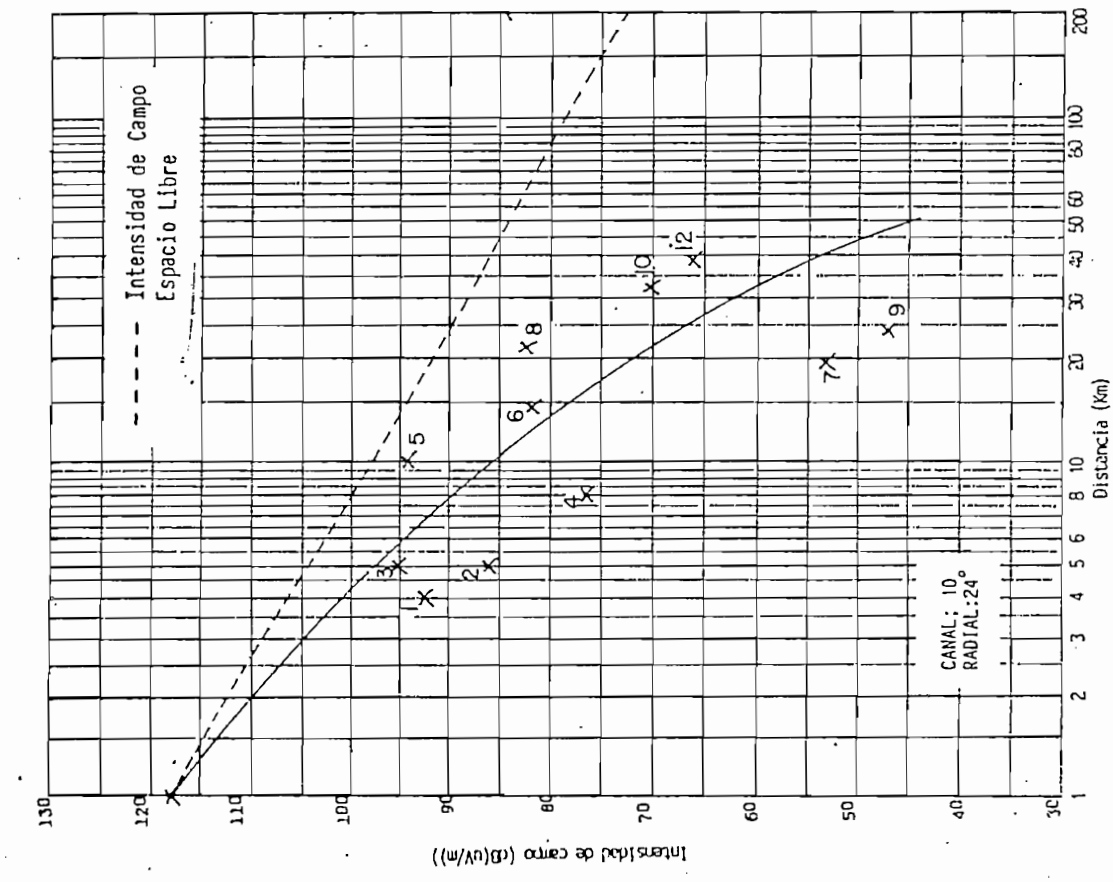


FIGURA 5.4.4

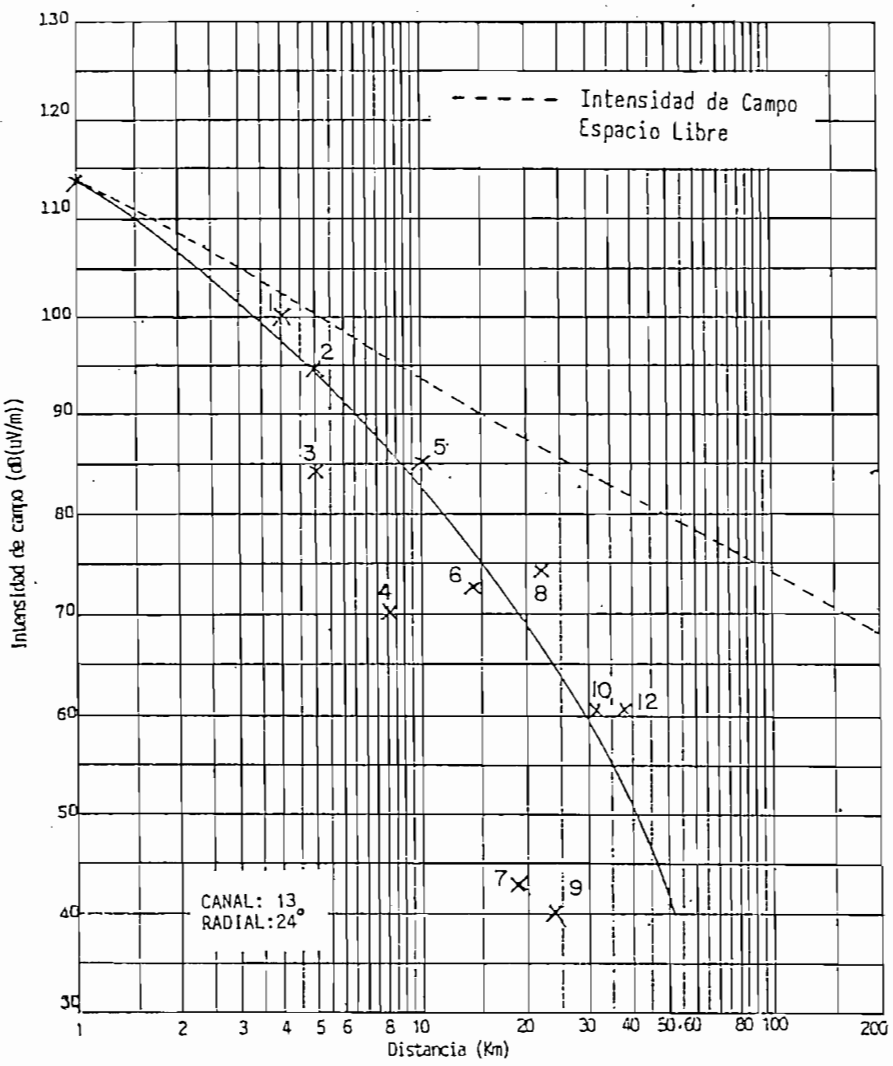

Intensidad de Campo
Espacio Libre
CANAL: 13
RADIAL:24°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200

FIGURA 5.4.5

En este radial (24º) se puede notar claramente en todos los casos que el punto de medición 7 está alejado de las curvas trazadas para cada canal de televisión, por lo que puede ser analizado de manera particular.

En la ***figura 5.4.6*** se muestra el perfil del trayecto hasta el punto de medición 7, en el mismo que se nota una obstrucción debido a una sucesión de crestas, las cuales, dada su forma pueden ser consideradas como una sola obstrucción uniendo los puntos 1,2,3 y 4. De esta manera podemos calcular la atenuación debida a una cumbre (Ls) como se indica en el **literal c del punto 4.1 (Capitulo IV).**

Para el presente análisis, los datos que se obtienen de la ***figura 5.4.6*** (para canal 4), son:

f = 67.25 MHz

d_1 = 3.5 Km (por definición $d_1 < d_2$)

d_2 = 15.5 Km

H = 110 m

Utilizando el nomograma de la ***figura 5.4.7***:

* En las columnas **(2)** y **(4)** se ubican las distancias d_1 y d_2 respectivamente.

* Uniendo los puntos ubicados en (2) y (4) se obtiene un punto en la columna (3).

* En la columna (1) se ubica un punto en 19 Km (d_1+d_2),para ser unido mediante una recta con el punto obtenido en (3) y prolongando esta línea hasta la columna (5), se obtiene otro punto en esta columna.

* Ubicando el punto correspondiente a la altura H en la columna (6); uniendo este punto con el que se obtuvo en la columna (5) y prolongando la línea hasta la columna (7) se obtiene otro punto en esta columna.

* Haciendo el análisis para el canal 4, por ser el más crítico, se toma la frecuencia portadora de video del canal 4, que es 67.25 MHz y se localiza esta frecuencia en la columna (8), la misma que uniendo con el punto obtenido en (7) y prolongando la línea hasta (9) nos da un punto en (9) que leído en su parte derecha (por ser H positiva), resulta 16 dB, que es el valor de la atenuación por obstrucción de esta cumbre.

Con el valor de 16 dB de atenuación se justifica que la curva de propagación de la ***figura 5.4.2*** pase por 62 dB en 19 Km, porque si a este valor se resta 16 dB, de la atenuación por

cumbre, resultaría un valor de 46 dB que con el de 44 dB localizado en la curva dá un error de -2 dB que no representa gravedad alguna para un estudio de propagación.

De la misma manera, se puede hacer el análisis para los canales 2,8,10 y 13. Así, se determina que para el canal 2, la atenuación es de 14 dB; lo que significa que la curva de la *figura 5.4.1* se encuentra bien elegida, por existir una desviación razonable entre la intensidad de campo dada por la curva y la intensidad de campo medida tomando en cuenta su atenuación debida a la obstrucción existente en el trayecto de propagación.

Para los canales 8,10 y 13 la atenuación resulta $\simeq$20 dB, comprobándose de esta manera la validez de estas curvas.

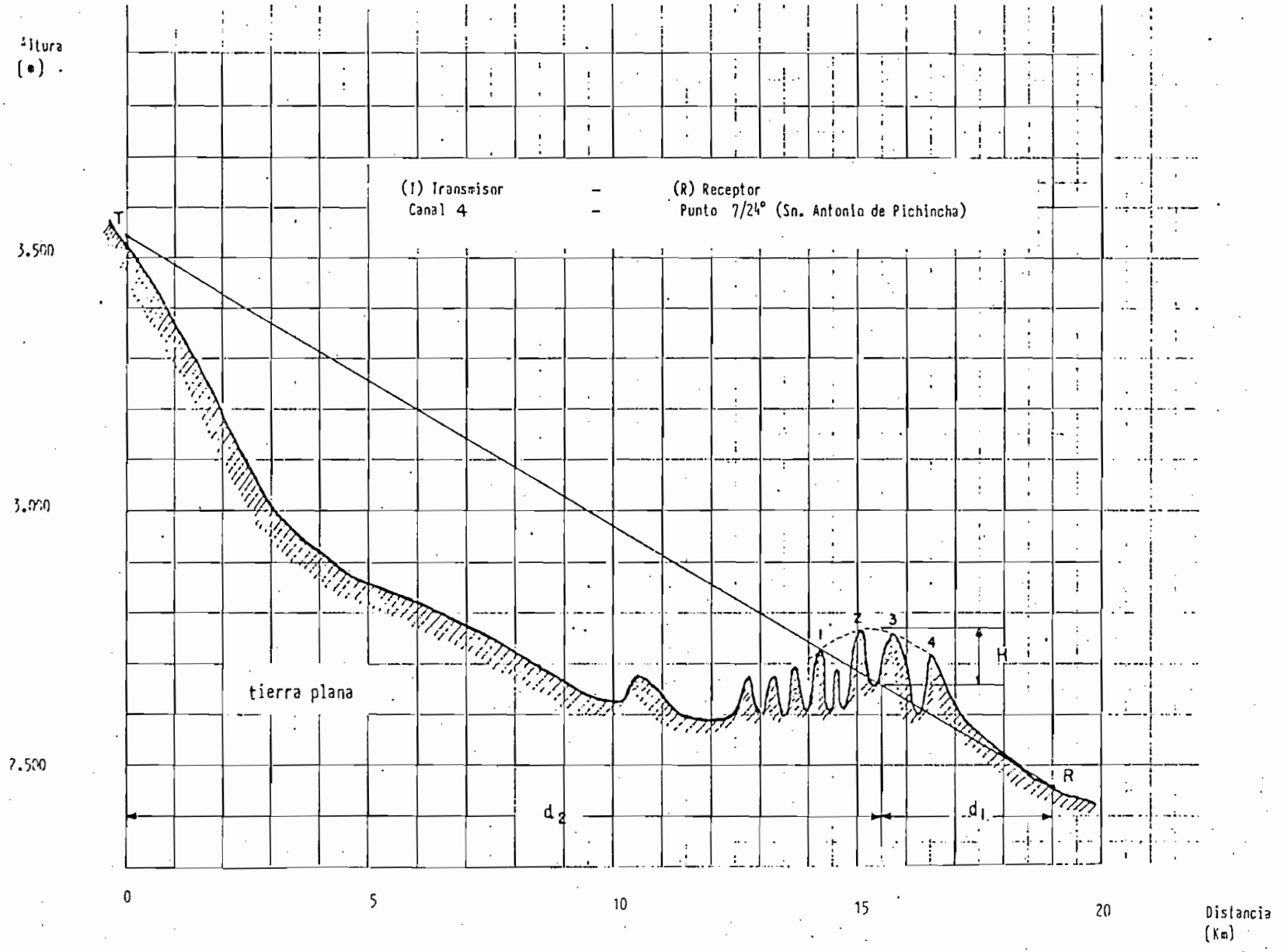
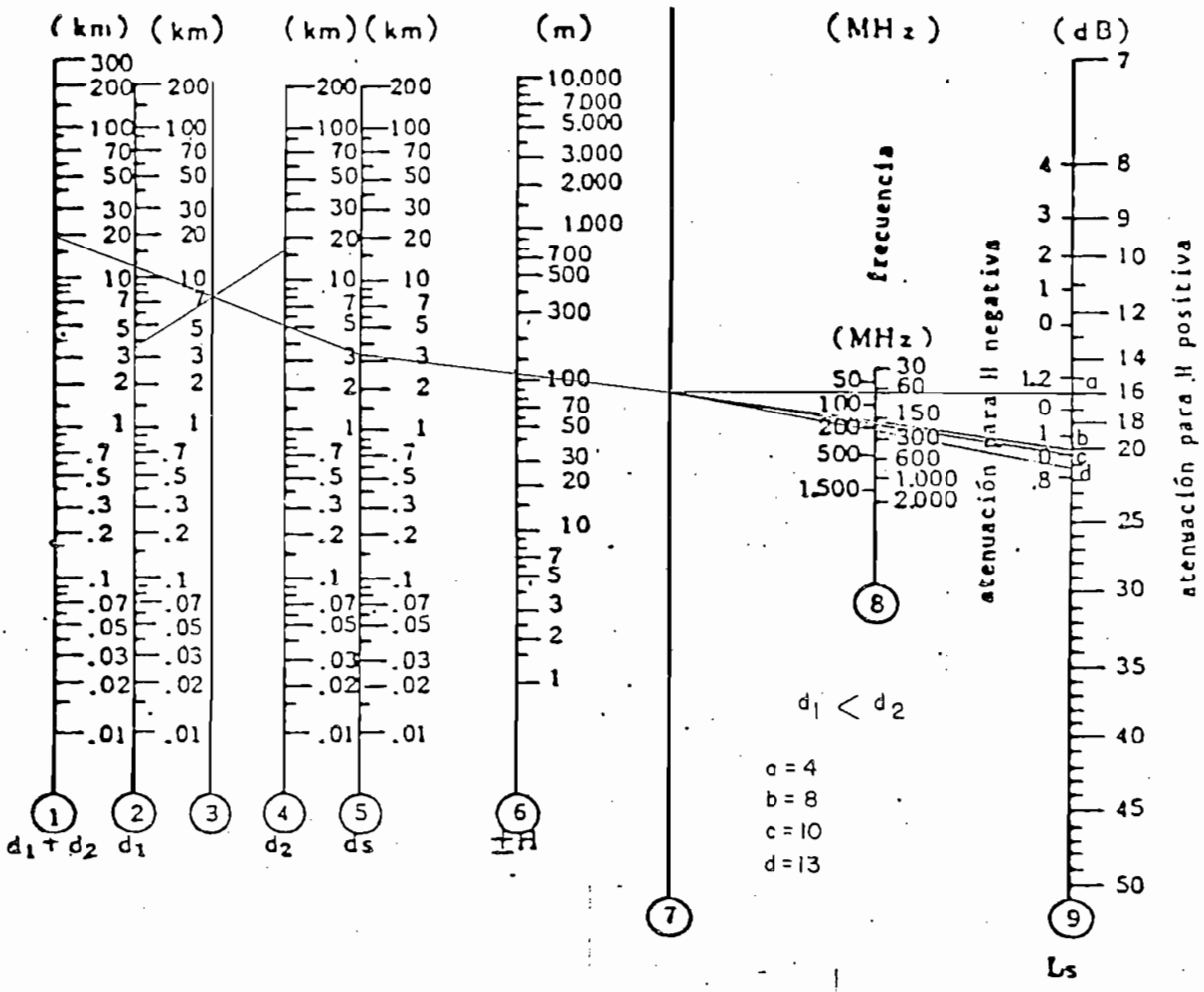
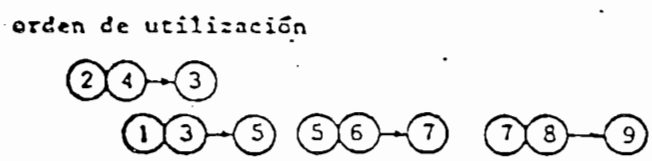
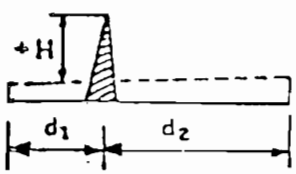

Altura (m)
3.500
3.000
2.500
(T) Transmisor – (R) Receptor
Canal 4 – Punto 7/24° (Sn. Antonio de Pichincha)
T
R
1
2
3
4
H
tierra plana
d_2
d_1
0
5
10
15
20
Distancia (Km)

FIGURA 5.4.6







Nomograma para calcular atenuación por cumbre

FIGURA 5.4.7

También en este radial (24º) se puede apreciar que en el punto de medición 9, se obtienen valores que difieren mucho de los que se pueden obtener con la curva, especialmente para los canales 8,10 y 13.

La mayor desviación presentada por el valor de medición del punto 9, con respecto a la curva, es en el caso de la curva del canal 13. Por esta razón, se realiza el análisis particular de este punto de recepción, calculando la atenuación que sufre el canal 13 debido a los obstáculos que presenta el trayecto de propagación.

El perfil del trayecto hasta el punto de recepción (medición) 9, se presenta en la *figura 5.4.8*, en la que se puede observar la existencia de dos obstrucciones (El primer obstáculo es un conjunto de montañas, que por estar muy cercanas, son consideradas como una sola).

Siguiendo el procedimiento descrito en el *Capítulo IV*, para el caso de dos obstrucciones, y utilizando el nomograma de la *figura 5.4.9*, de la manera descrita en el análisis anterior, podemos obtener la atenuación:

Para el primer obstáculo, los datos son:

d_1 = 8.2 Km

d_2 = 15.5 Km

d_1+d_2 = 23.7 Km

H = -70 m

f = 211.25 MHz

Del nomograma de la ***figura 5.4.9***: Atenuación = 1.2 dB.

Para el segundo obstáculo, los datos son:

d'_1 = 0.3 Km

d'_2 = 23.7 Km

$d'_1+d'_2$ = 24 Km

H = 30 m

f = 211.25 MHz

Del nomograma de la ***figura 5.4.9***: Atenuación = 19.5 dB.

Por lo tanto, la atenuación total debida a las dos obstrucciones será 1.2 + 19.5 = 20.7 dB, que es un valor bastante cercano al que se puede apreciar en la ***figura 5.4.5***.

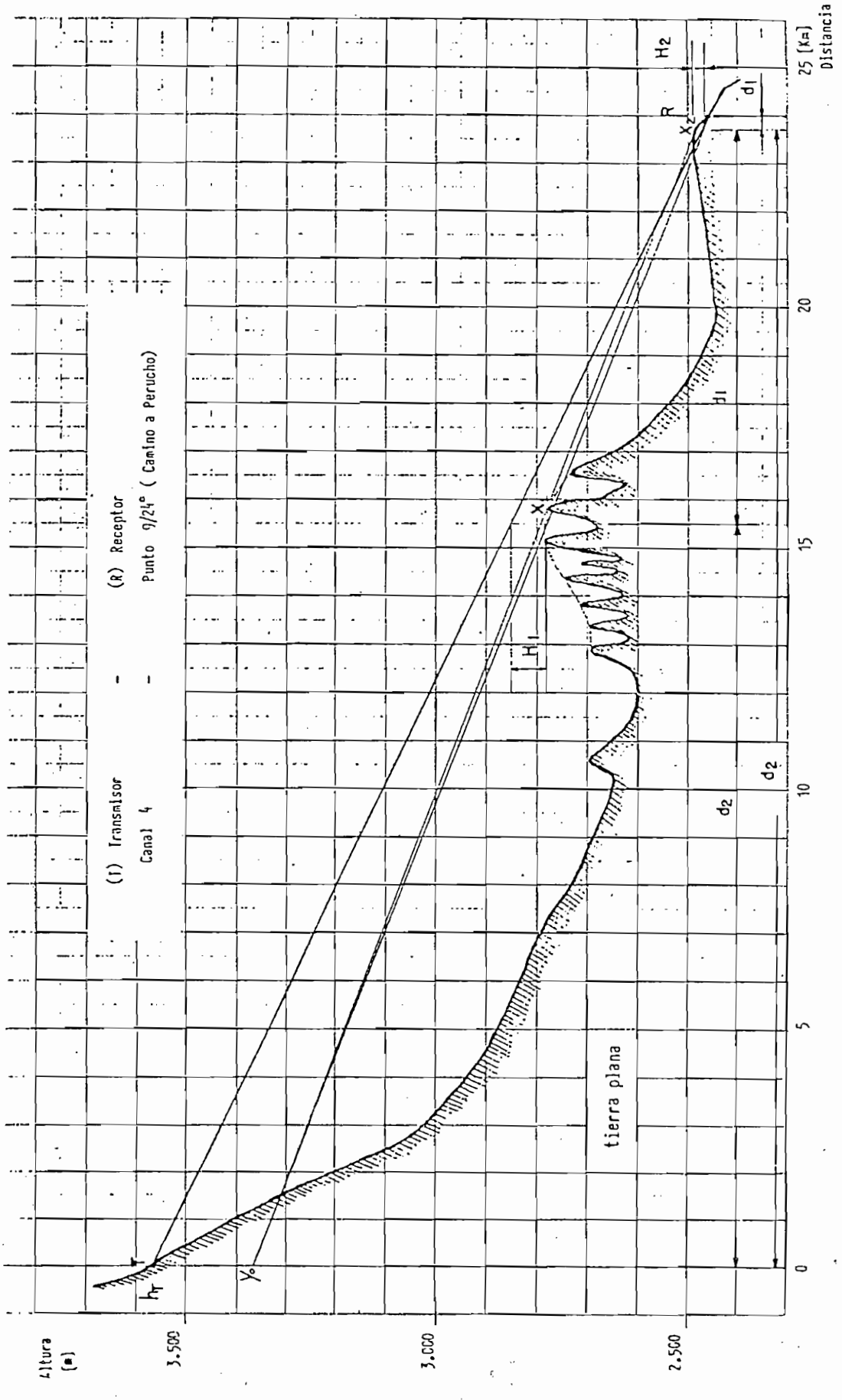
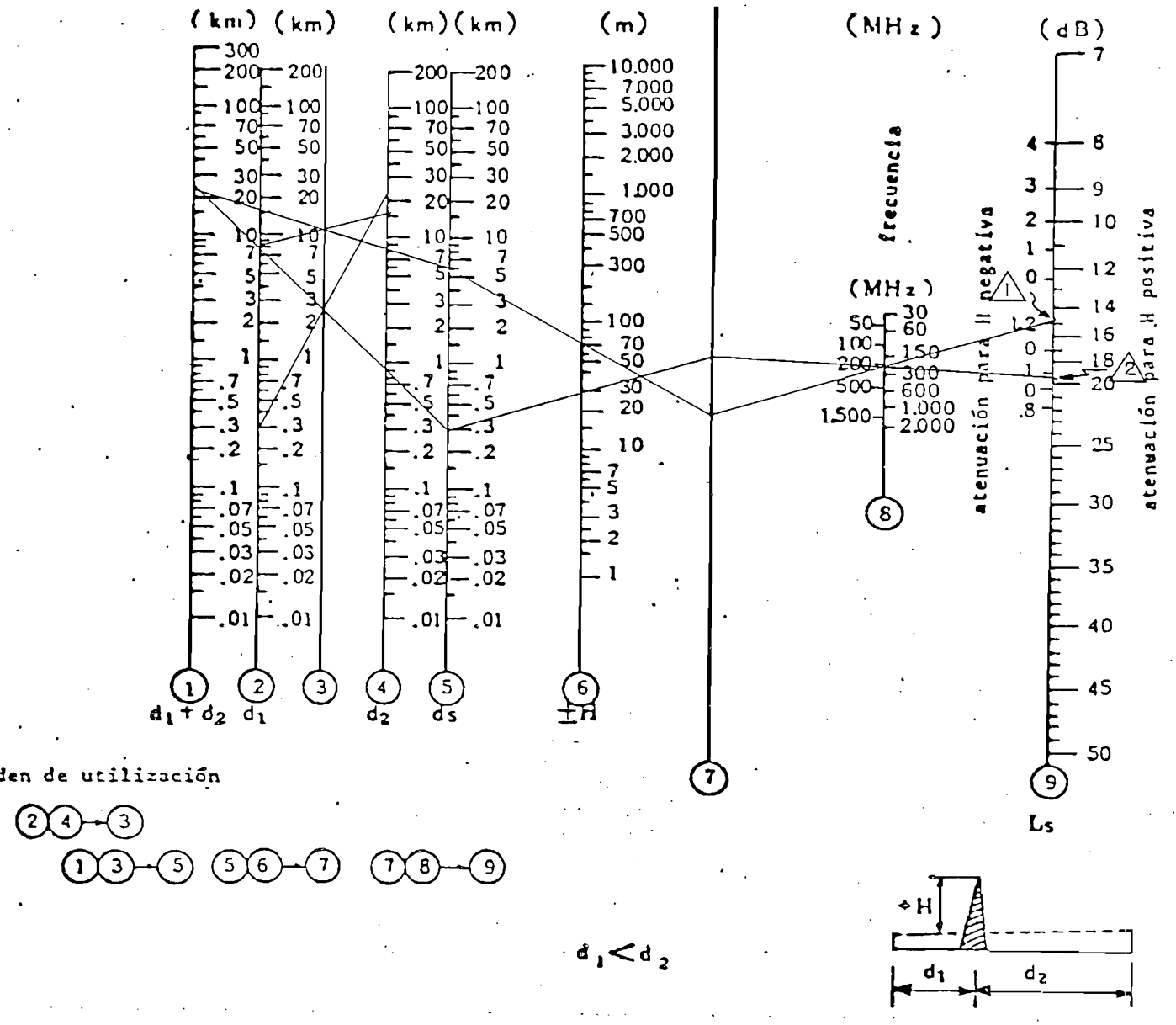

(T) Transmisor
Canal 4
(R) Receptor
Punto 9/24° (Camino a Perucho)
tierra plana
Altura (m)
3.500
3.000
2.500
0
5
10
15
20
25 [Km]
Distancia
h_T
Y_o
H_1
H_2
d_1
d_2
R
X
X_2

FIGURA 5.4.8



Nomograma para calcular atenuación por cumbre

FIGURA 5.4.9

En el radial de 24º se puede considerar como casos criticos, los que presentan los puntos de medición 3 y 4, para el canal 4, pero tomando en cuenta que en las observaciones del lugar escritas en estos puntos de medición (CUADROS DE MEDICION: Puntos 3/24º y 4/24º, *Capítulo V*), se expresa la existencia de bosques en el trayecto y si miramos los perfiles de estos puntos (Punto 3 --> *figura 5.4.10* ; Punto 4 --> *figura 5.4.11*), podemos observar que siendo el bosque de árboles altos, se pueden considerar estos trayectos obstruídos; por lo que cabría esperarse la máxima atenuación, por la existencia de bosques que ha sido expresada en el punto 4.4.2 *"Vegetación en el Trayecto"* del *Capítulo IV*, como un valor de 30 dB, que es el valor de desviación que presentan los valores obtenidos en estos puntos, con respecto a la curva dada para el canal 4 en este radial.

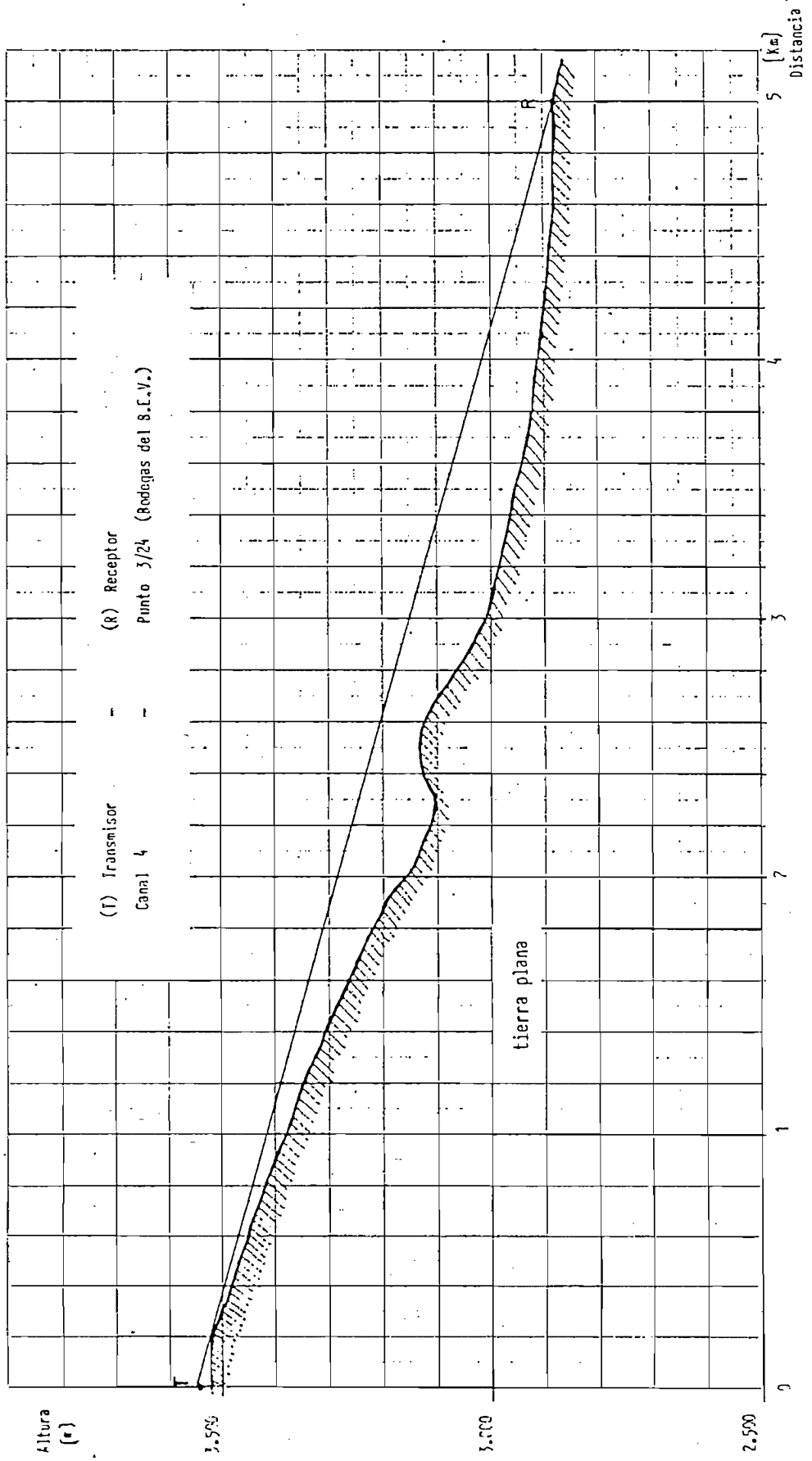

(T) Transmisor
Canal 4
(R) Receptor
Punto 3/24 (Bodegas del S.E.V.)
tierra plana
T
R
Altura (m)
3.500
3.000
2.500
0
1
2
3
4
5
Distancia (Km)

FIGURA 5.4.10

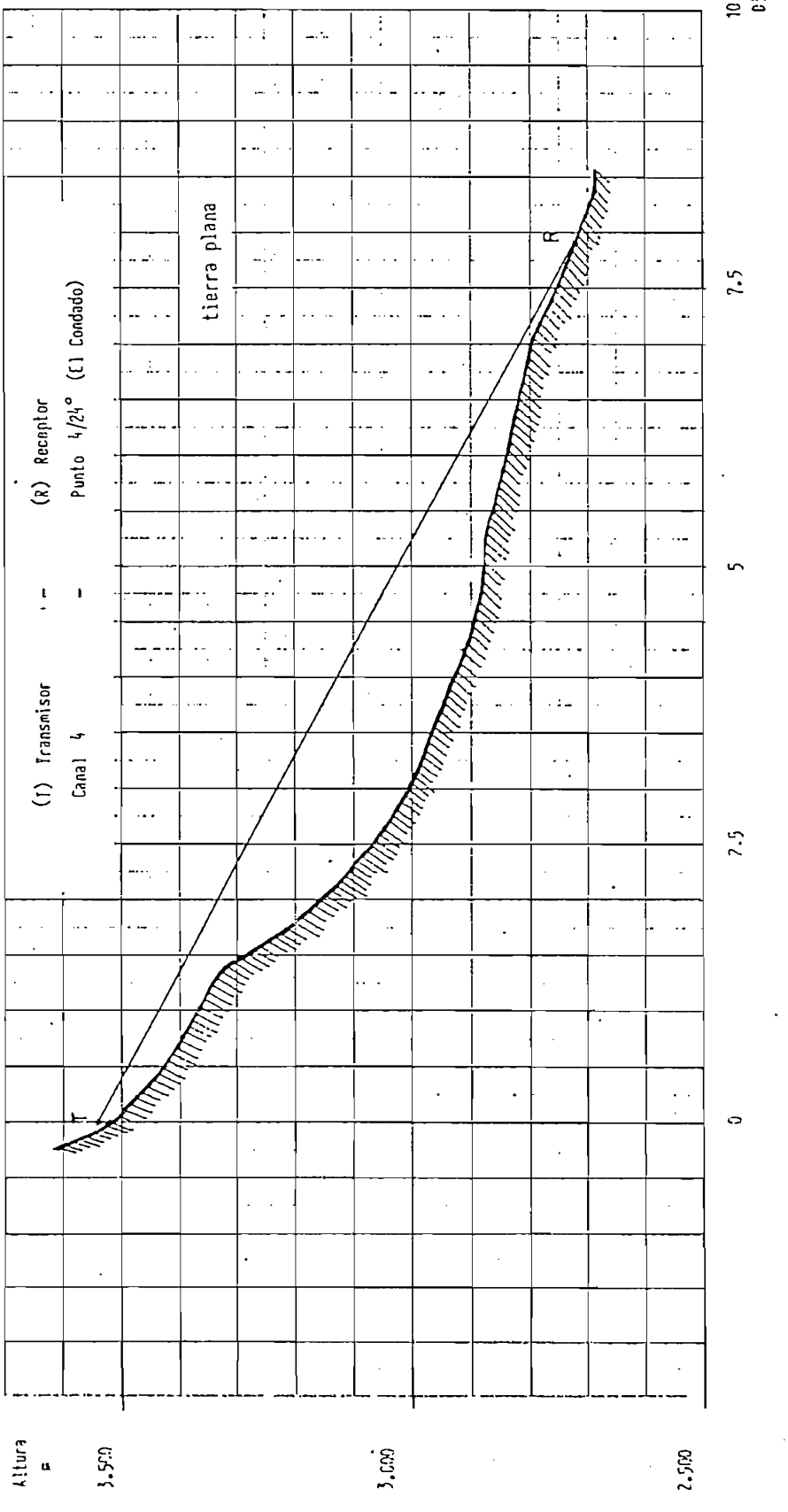

(T) Transmisor
Canal 4
(R) Receptor
Punto 4/24° (El Condado)
tierra plana
T
R
Altura
m
3.500
3.000
2.500
0
2.5
5
7.5
10 Km
Distancia

FIGURA 5.4.11

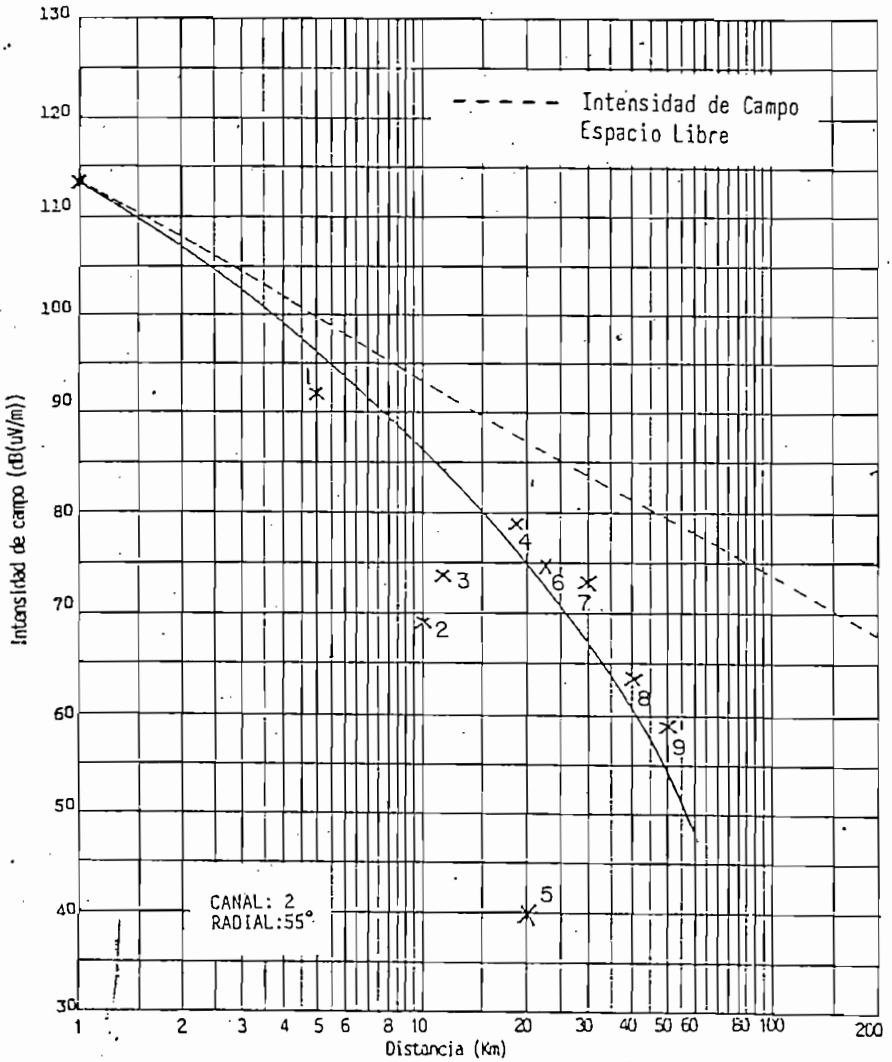

Intensidad de Campo
Espacio Libre
CANAL: 2
RADIAL:55°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200

FIGURA 5.4.12

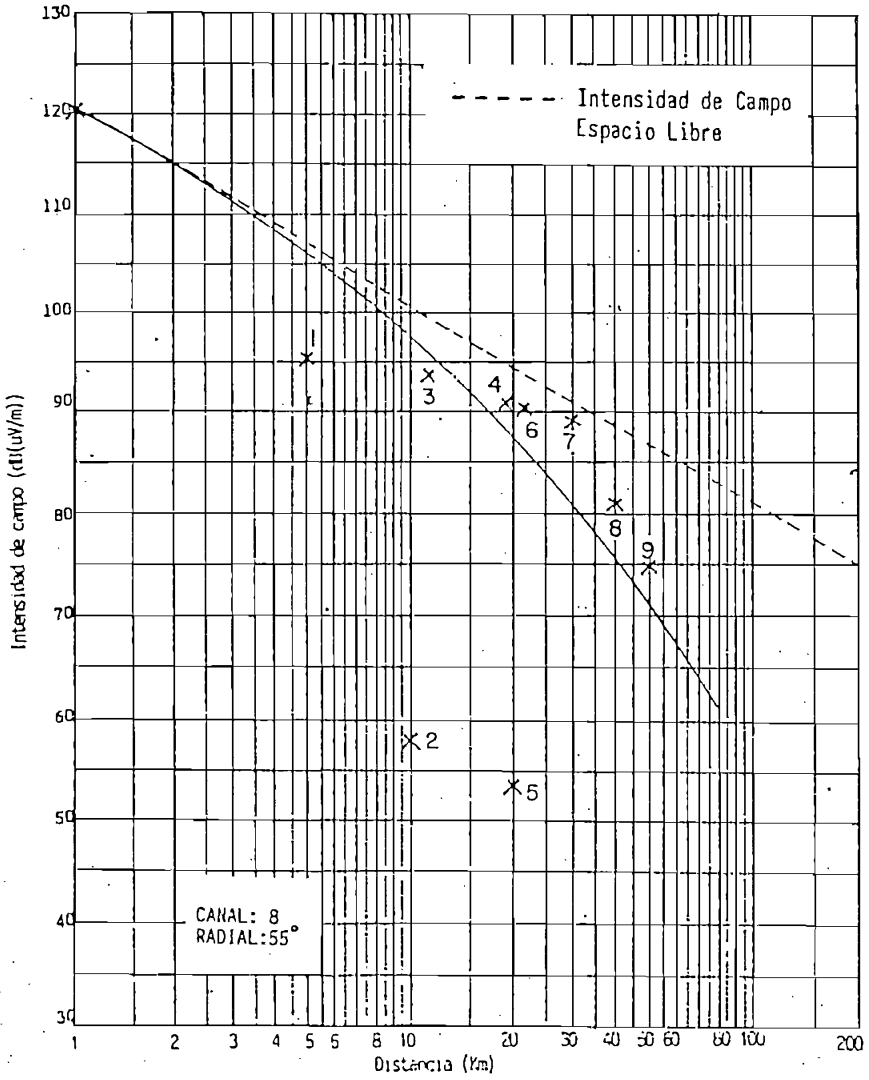


FIGURA 5.4.14

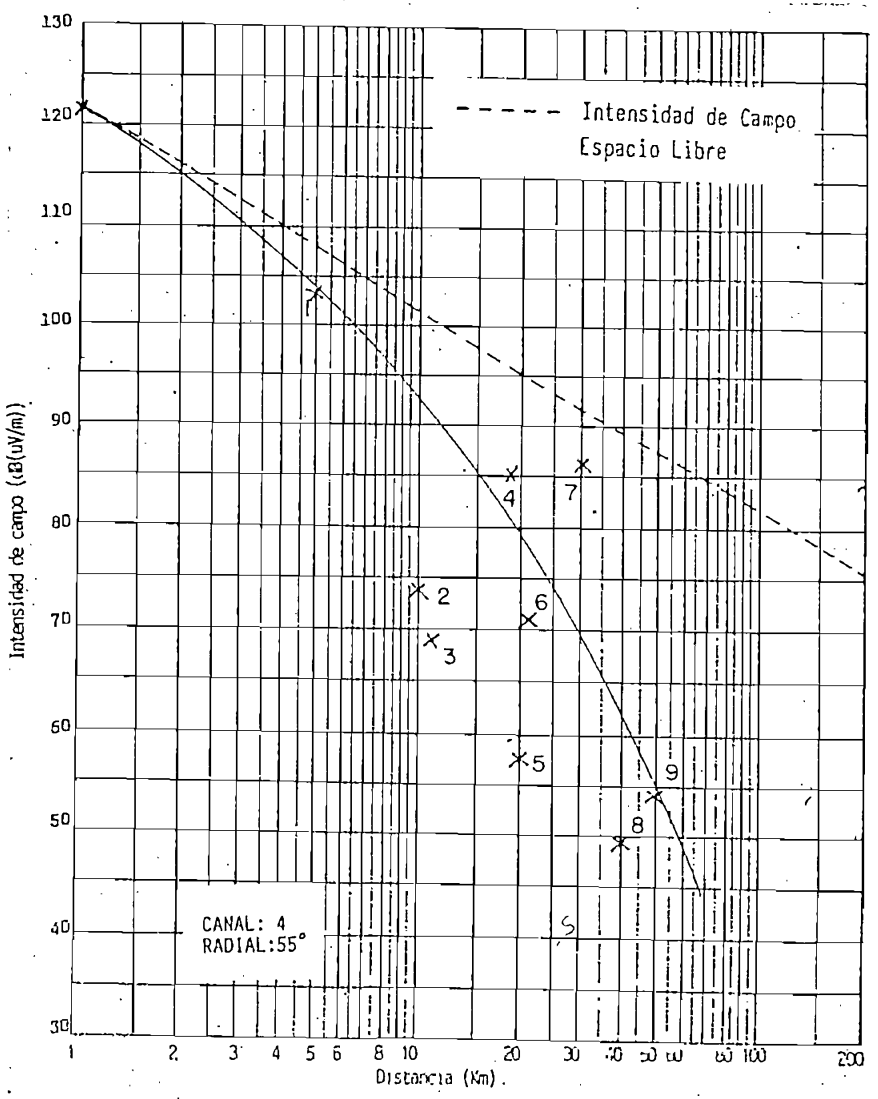


FIGURA 5.4.13

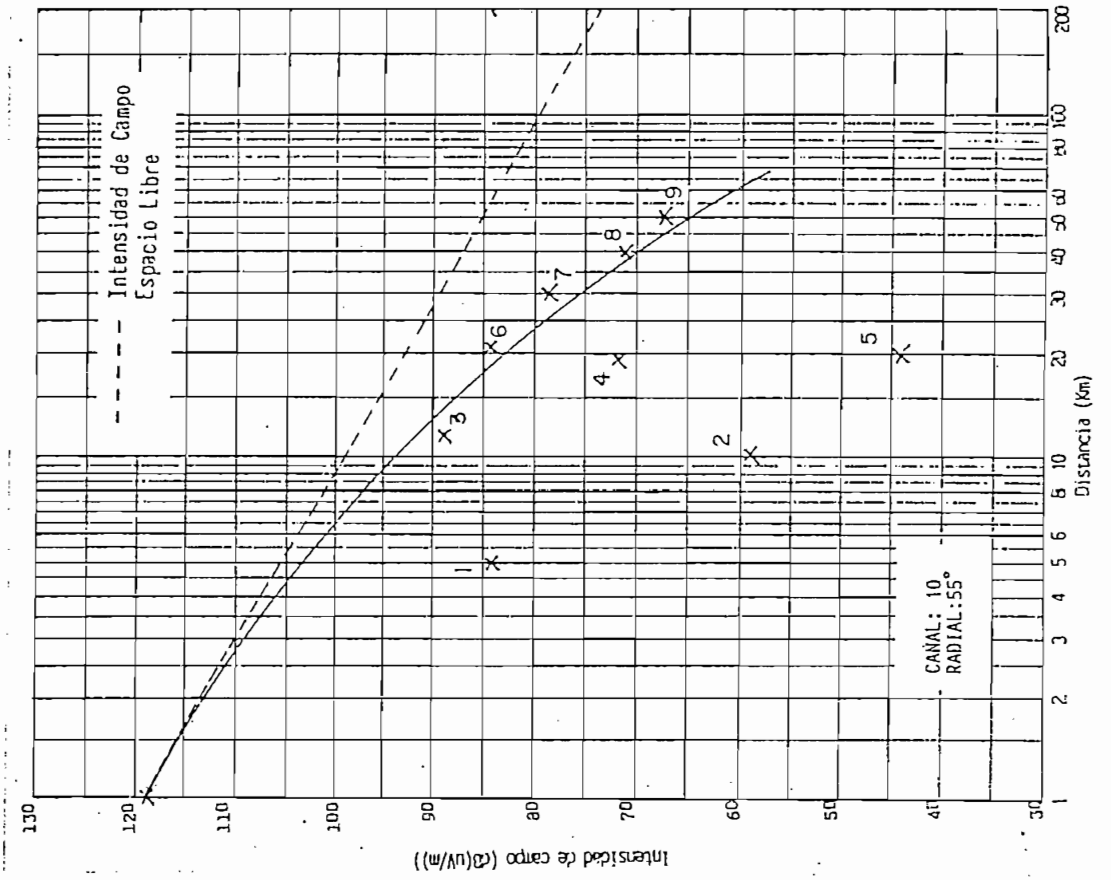


FIGURA 5.4.15

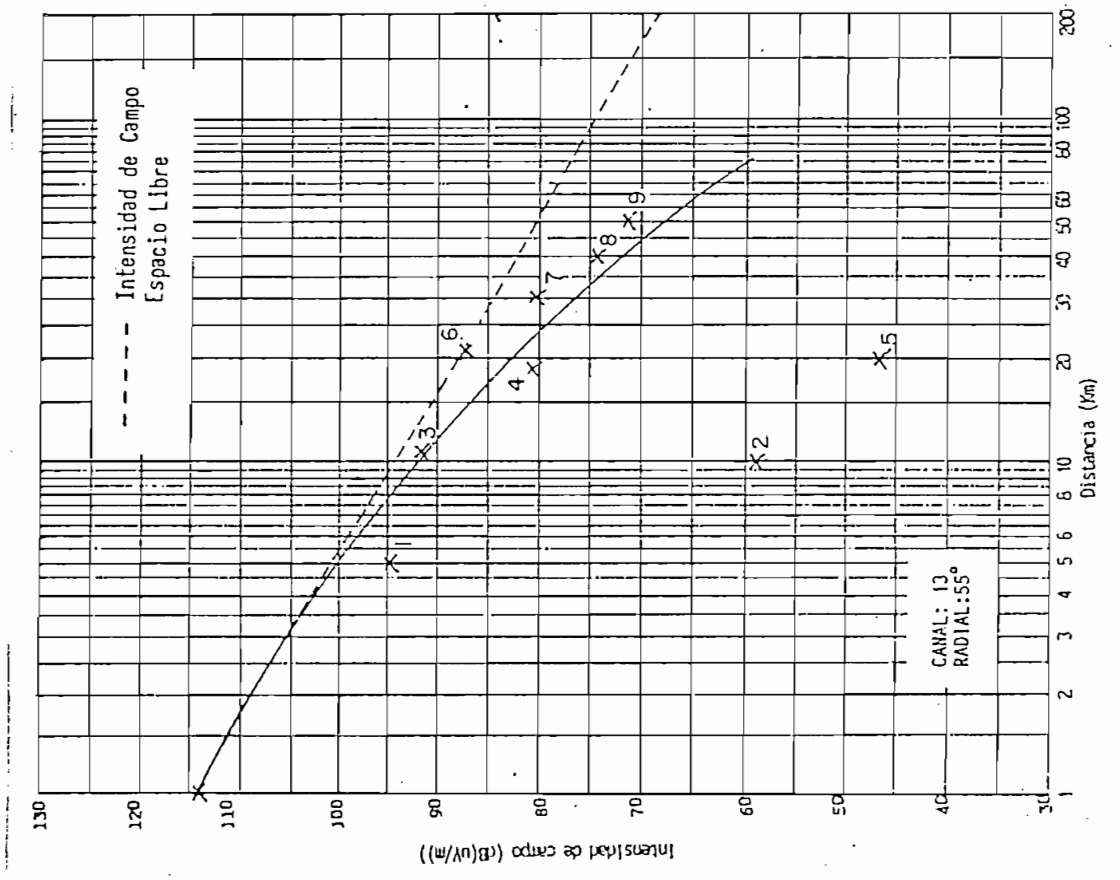


FIGURA 5.4.16

En este radial (55º), se puede apreciar que para todos los canales de televisión, los valores de intensidad de campo medidos en los puntos 2 y 5, están muy por debajo del valor que presenta cada curva particular. A continuación se hace el cálculo de atenuación que sufre la señal del canal 13 (por ser el caso mas crítico) en el punto 2.

En la ***figura 5.4.17***, se presenta el perfil del trayecto de propagación, correspondiente al punto de medición 2, para el canal 13, en el perfil se puede observar la existencia de una obstrucción que producirá una atenuación, la misma que se calcula de la manera descrita en el radial anterior, con los siguientes datos:

d_1 = 1.3 Km

d_2 = 8.5 Km

d_1+d_2 = 9.8 Km

H = 75 m

f = 211.25 MHz

De la ***figura 5.4.19***, la atenuación por obstrucción es de 22.4 dB. La razón, por la que este valor, es menor a la desviación que presenta la medición, es que, el punto de medición se encuentra en un lugar rodeado por bosques altos, como se desprende de las observaciones del lugar, que presenta el cuadro de mediciones del **punto 2/55º**,por lo que se debe asumir, que a ésto se debe la diferencia de los valores. Destacando, en todo caso, que se produce una mayor atenuación debida a la existencia de vegetación, en las frecuencias más elevadas.

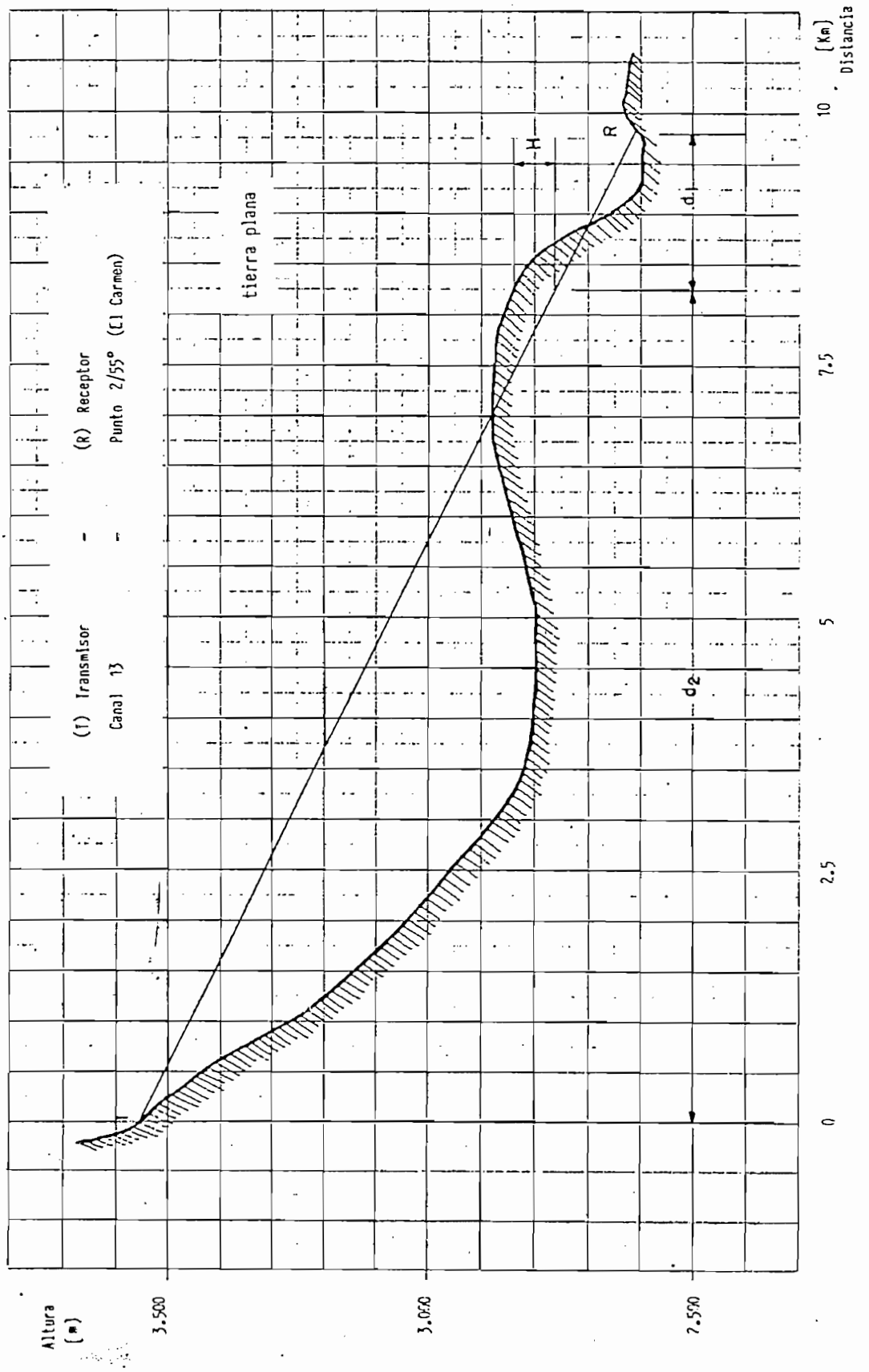
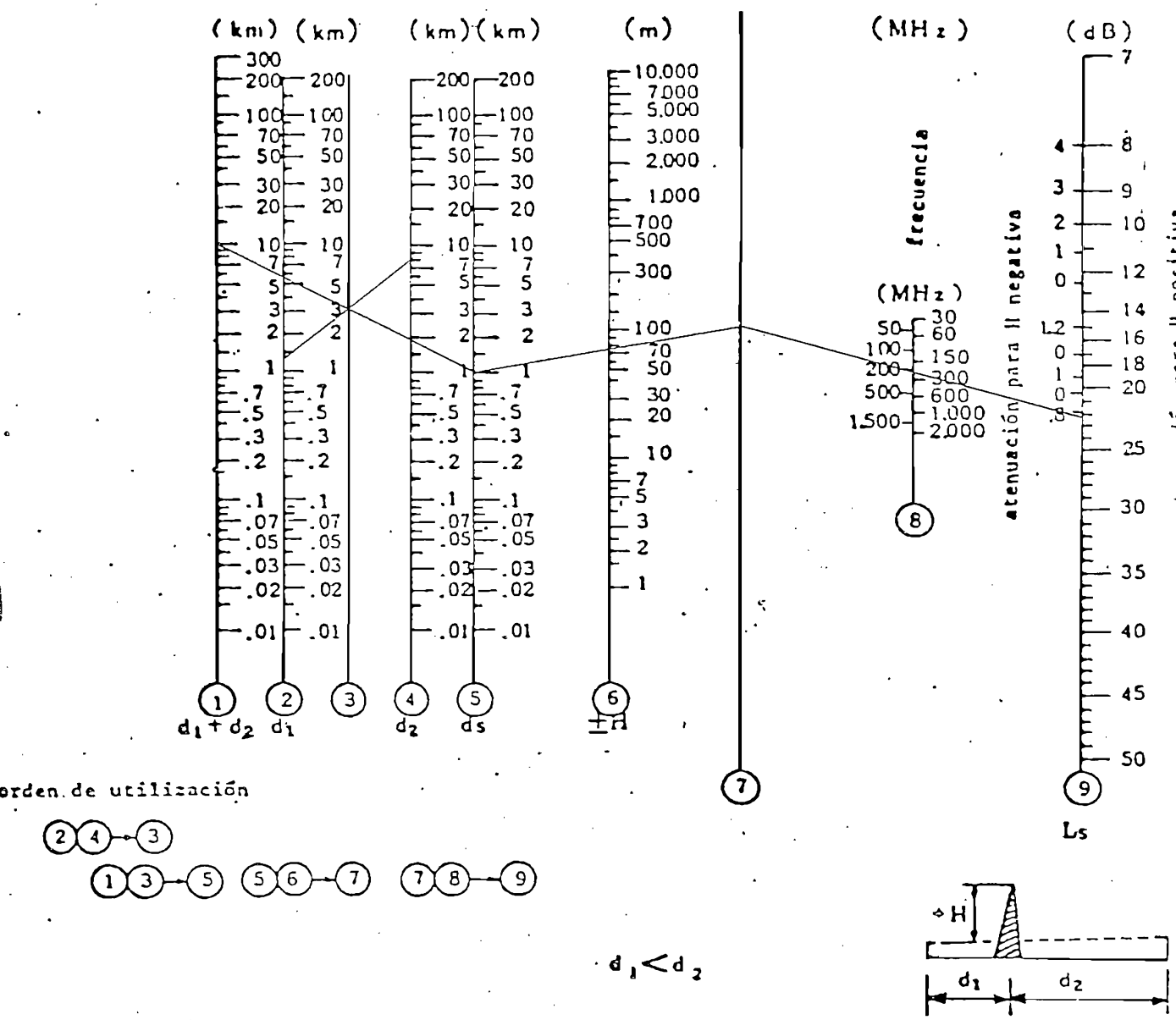

(T) Transmisor
Canal 13
(R) Receptor
Punto 2/55° (El Carmen)
tierra plana
H
R
d1
d2
Altura (m)
3.500
3.000
2.500
0
2.5
5
7.5
10
(Km) Distancia

FIGURA 5.4.17



Nomograma para calcular atenuación por cumbre

FIGURA 5.4.18

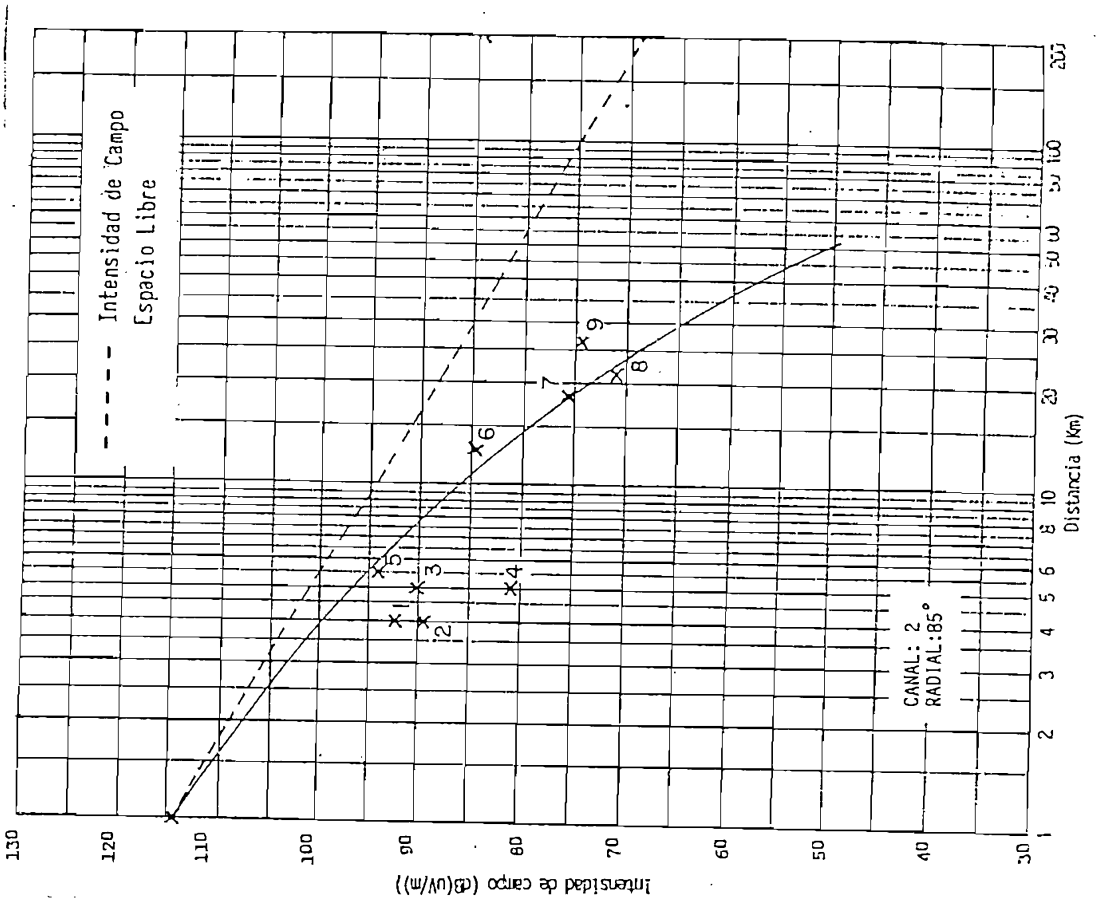


FIGURA 5.4.19

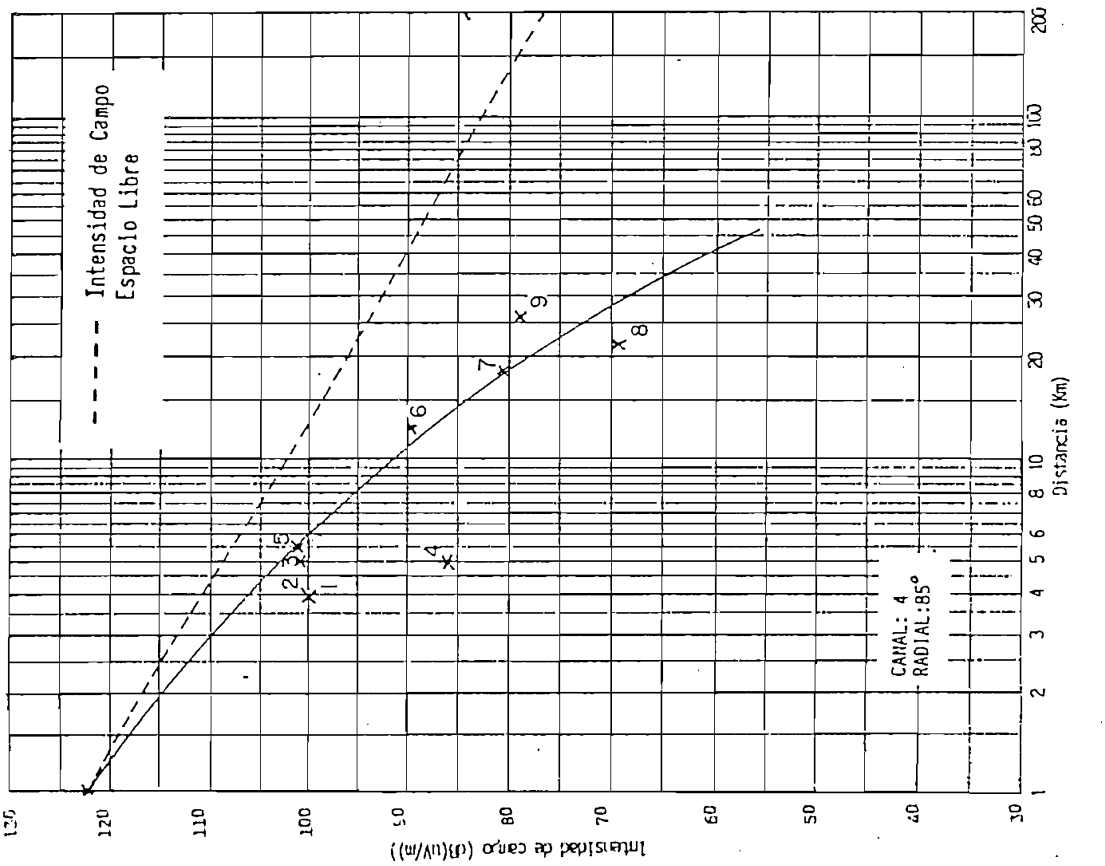


FIGURA 5.4.20

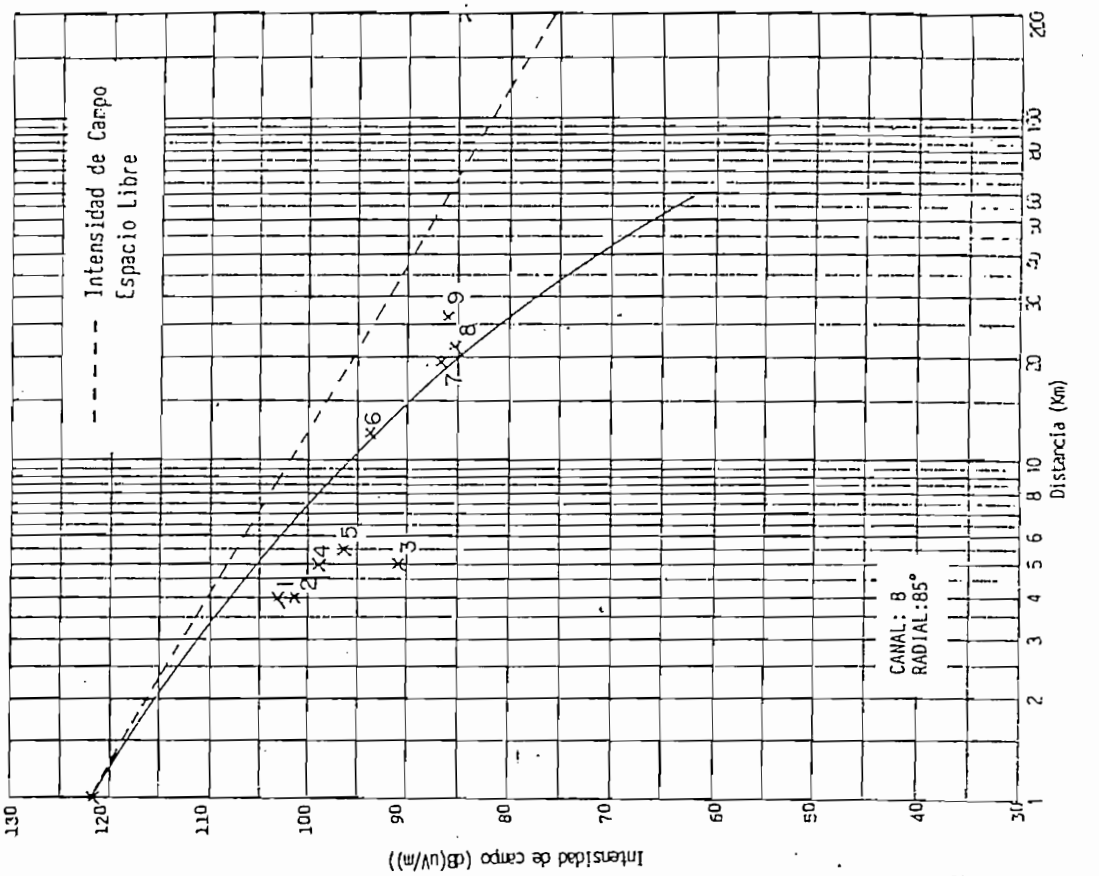


FIGURA 5.4.21

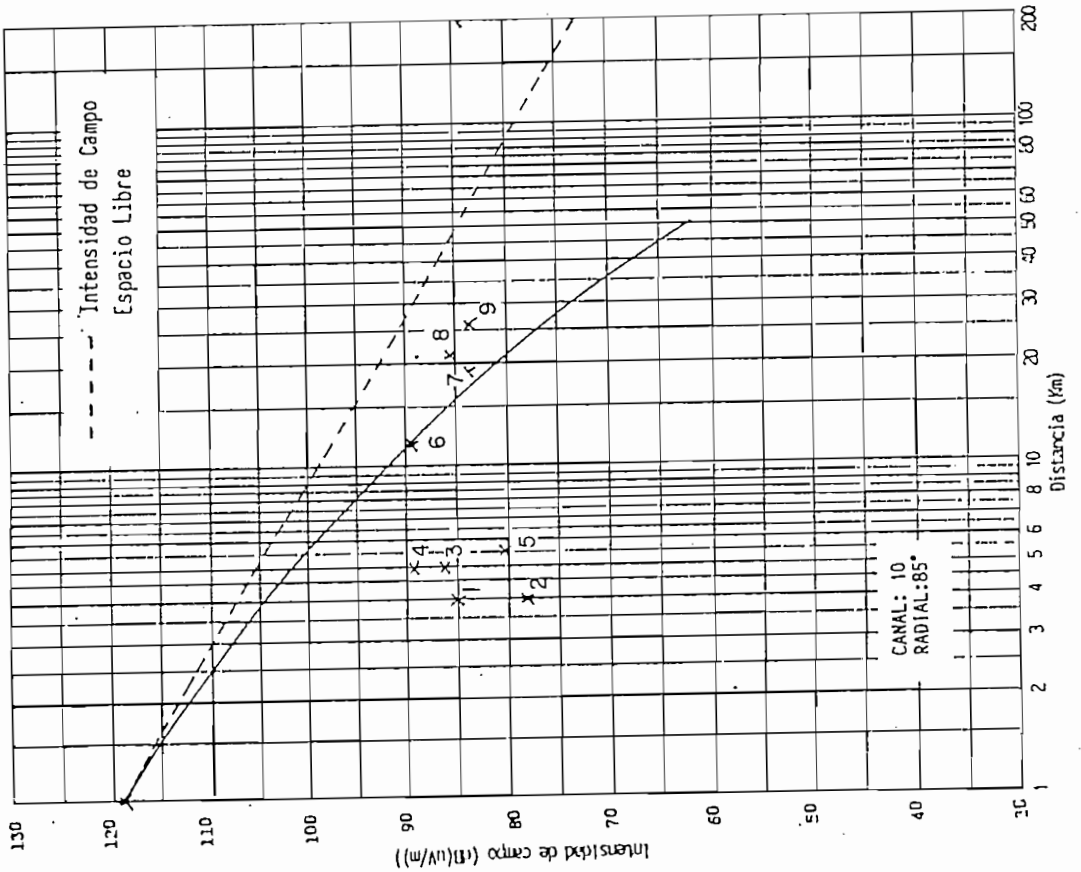


FIGURA 5.4.22

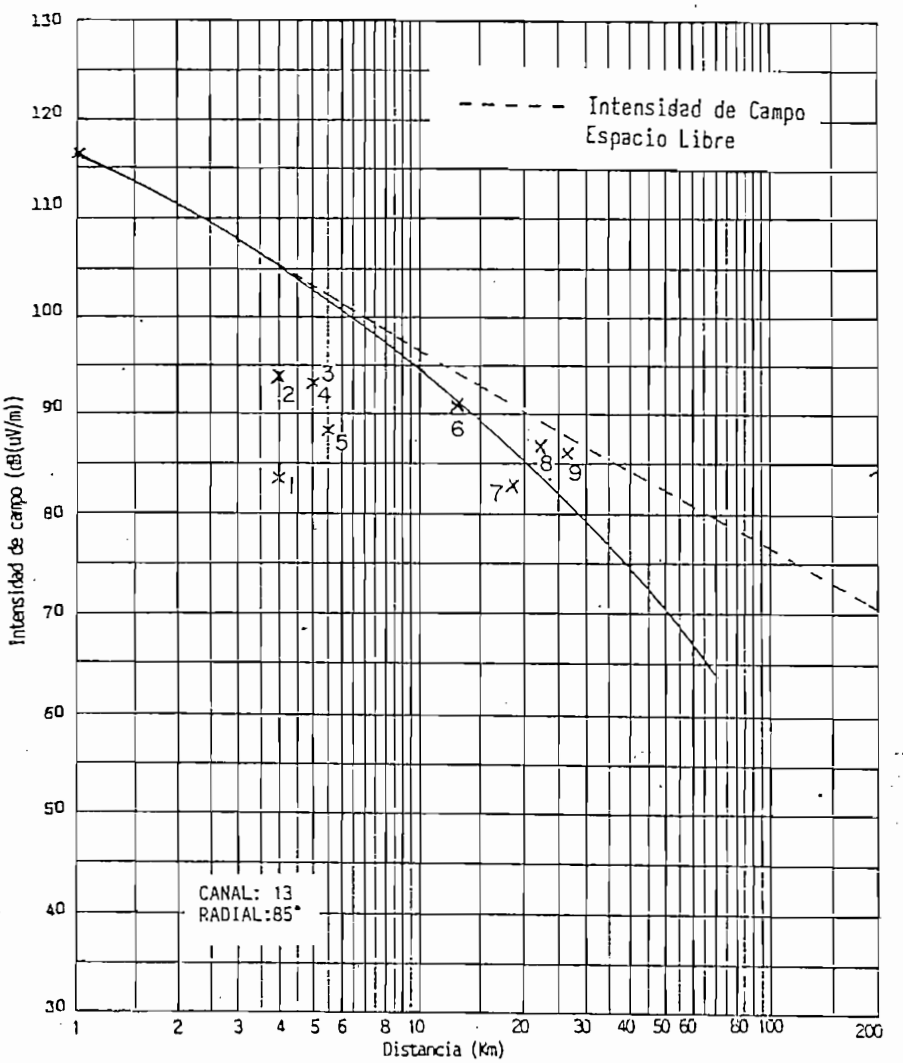

Intensidad de Campo
Espacio Libre
CANAL: 13
RADIAL:85°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200

FIGURA 5.4.23

Como se puede apreciar en las curvas obtenidas para el radial 85º, los puntos que no cumplen con estas curvas, son aquellos puntos tomados dentro de la ciudad.

En el Capítulo IV, punto 4.4.3, se establece que pueden existir atenuaciones de hasta 16 dB con antenas de recepción de 10 m de altura, pero para el presente estudio, la altura de antena receptora usada es de 3 m, por lo que se debe esperar una atenuación aún mayor a los 16 dB. Cabe señalar lo que a este respecto dice el CCIR (Volúmen V, Recomendación 370-3, Anexo 1, Punto 6.):

"Los valores medianos de ganancia que cabe esperar al cambiar la altura de antena receptora de 3 m a 10 m por encima del nivel del suelo son: en las bandas I y II, 9 dB para terreno accidentado o llano, tanto en las zonas urbanas como rurales; en la banda III, 7 dB para terreno llano en zonas rurales y 11 dB para terreno accidentado o zona urbana. Estos valores se aplican a distancias de hasta 50 Km. Para distancias superiores a 100 Km deben reducirse en un 50% los factores indicados y utilizar interpolación lineal para distancias intermedias".

Las bandas I, II, III, IV y V son las siguientes:

Banda I : 41 - 68 MHz
Banda II : 87.5 - 100 MHz
Banda III : 162 - 230 MHz
Banda IV : 470 - 582 MHz
Banda V : 582 - 960 MHz.

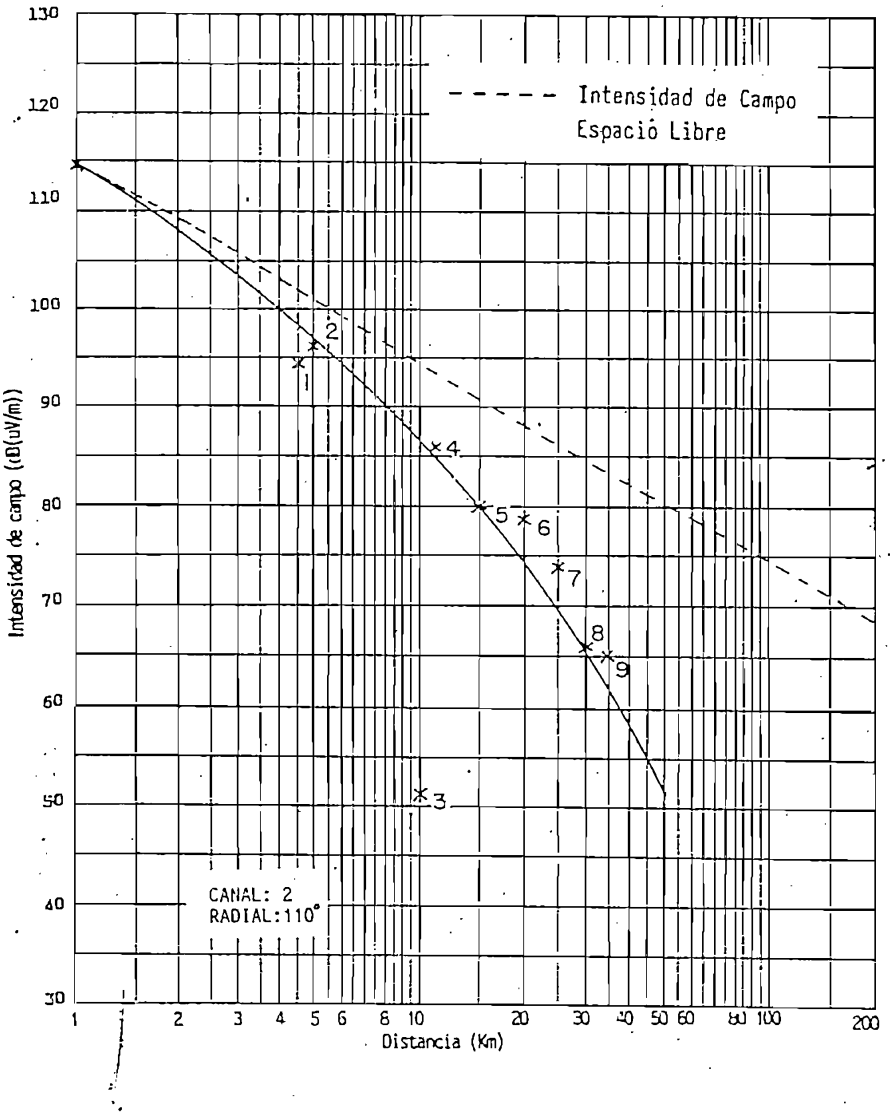

Intensidad de Campo
Espacio Libre
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
CANAL: 2
RADIAL:110°
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200

FIGURA 5.4.24

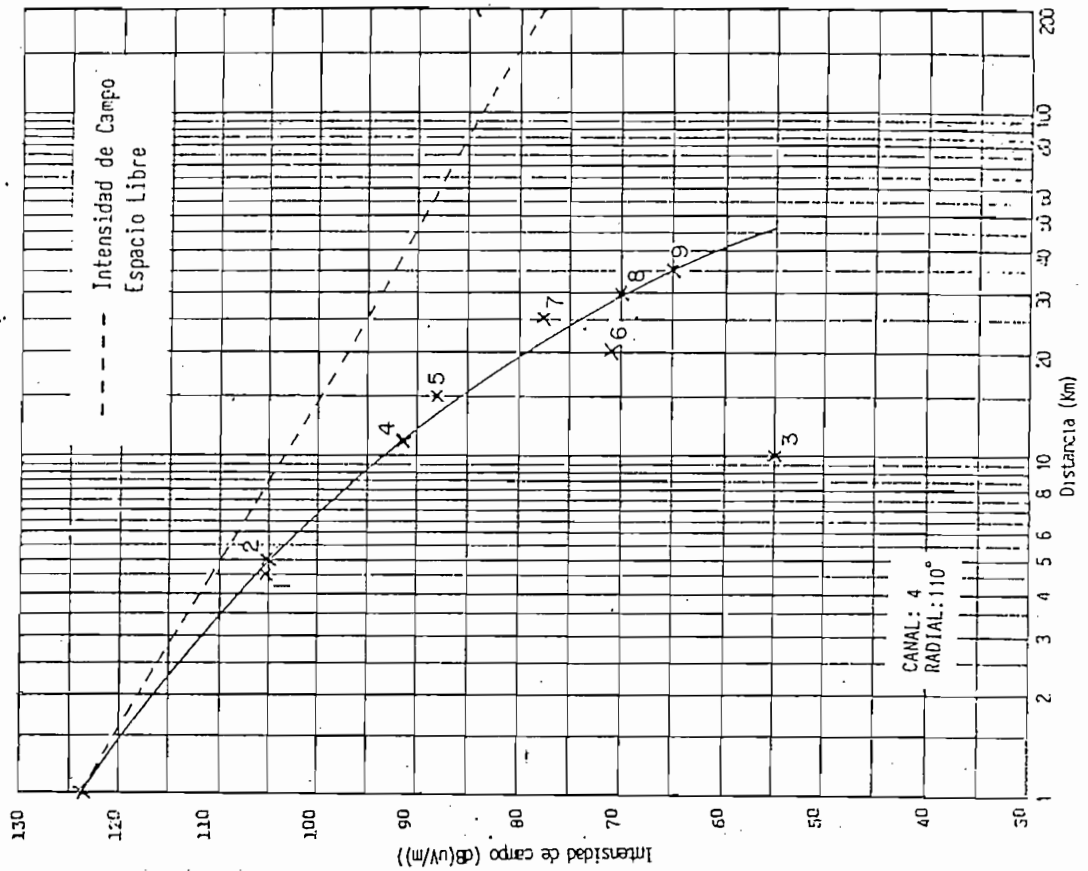


FIGURA 5.4.25

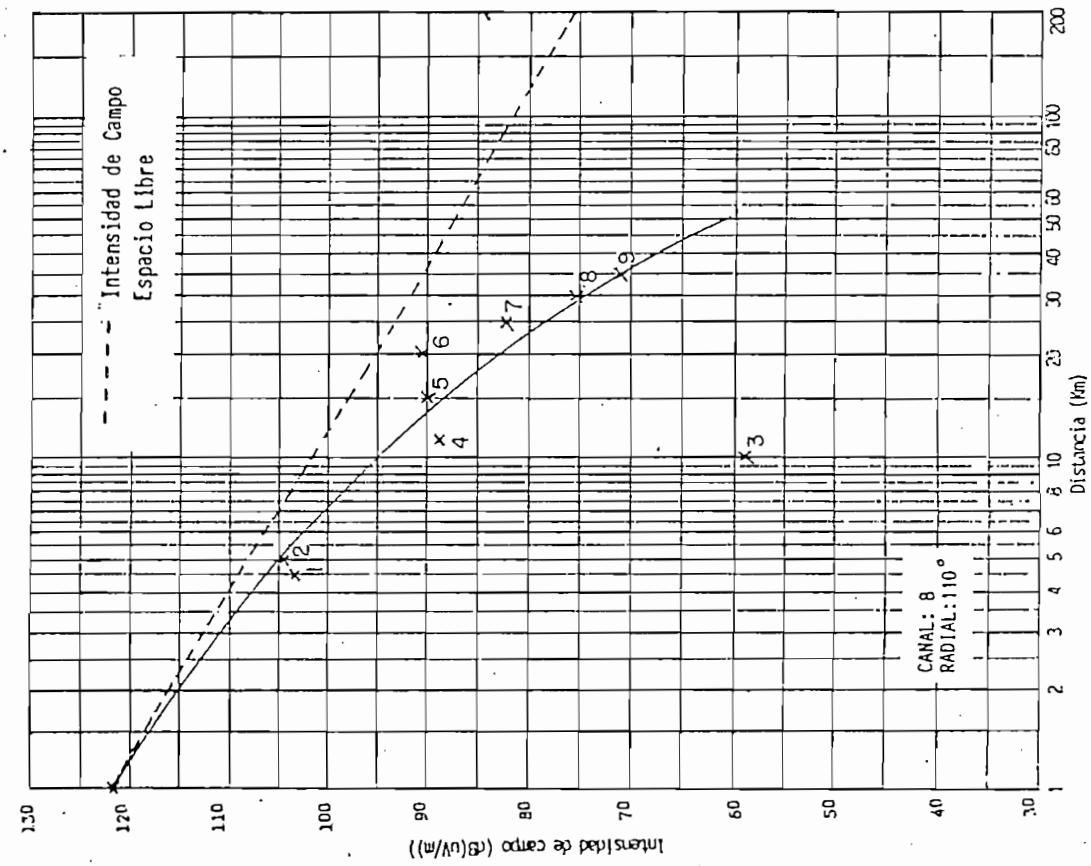


FIGURA 5.4.26

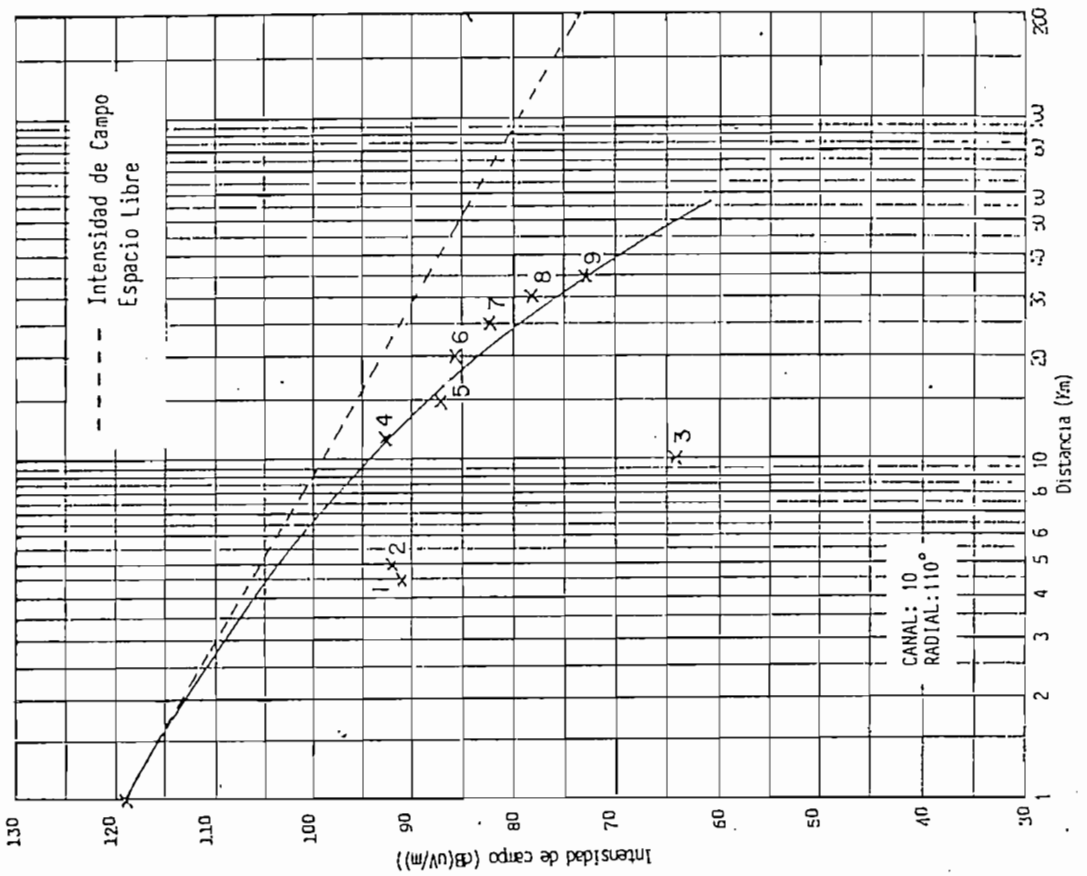


FIGURA 5.4.27

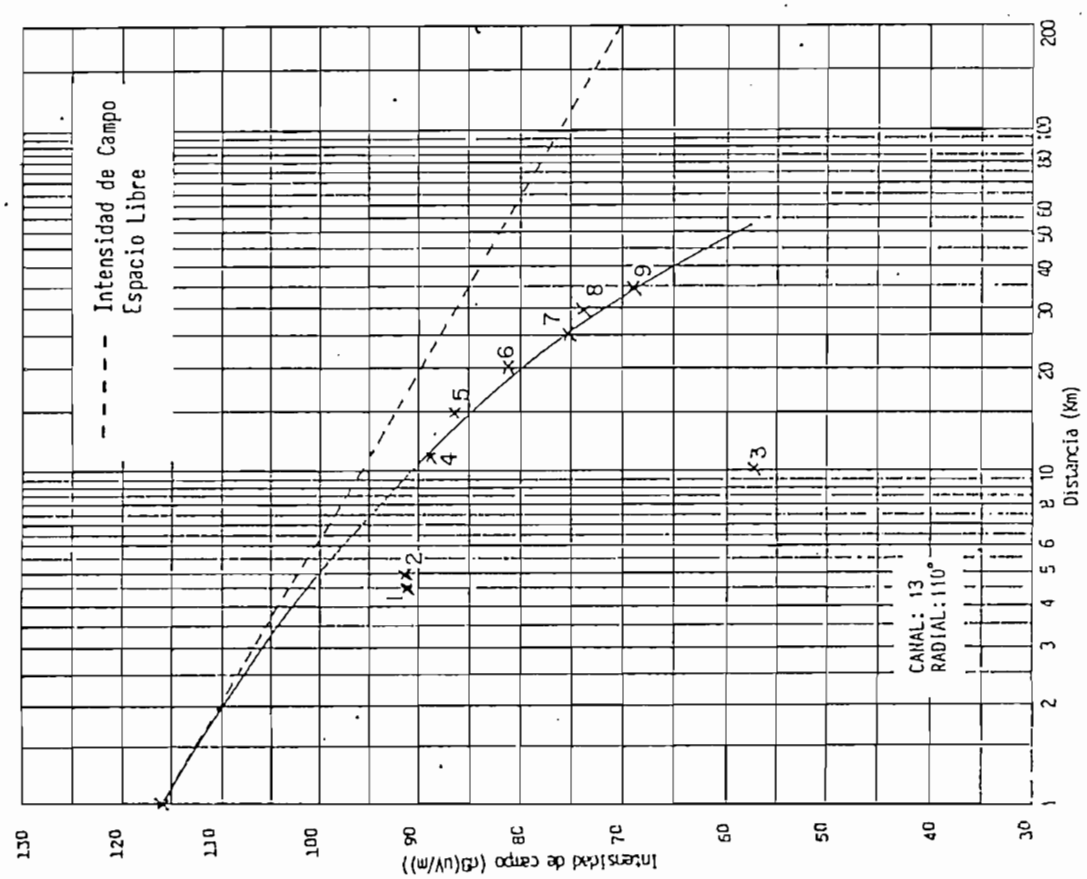


FIGURA 5.4.28

Como se puede apreciar en las figuras precedentes (5.4.24 a 5.4.28), el valor obtenido en el punto de medición 3, no corresponde a los valores dados por las curvas, por lo que conviene hacer el análisis particular para este punto de medición en el caso mas crítico, que es el del canal 4.

En la *figura 5.4.29*, se presenta el perfil del trayecto hasta el punto de medición 3, de este perfil se obtienen los siguientes datos:

$f = 67.25$ MHz

$d_1 = 3.25$ Km

$d_2 = 6.5$ Km

$H = 180$ m

Utilizando con estos datos, el nomograma de la *figura 5.4.30* (atenuación por obstrucción), se obtiene una atenuación de 22 dB.

Revisando el cuadro de medición de este punto (Punto 3/110°), se puede leer en las observaciones , que en este punto de recepción ha existido un bosque alto; por lo tanto se debe tomar en cuenta un aumento de la atenuación; con lo que se justifica el haber obtenido un valor de medición bajo con respecto a las curvas.

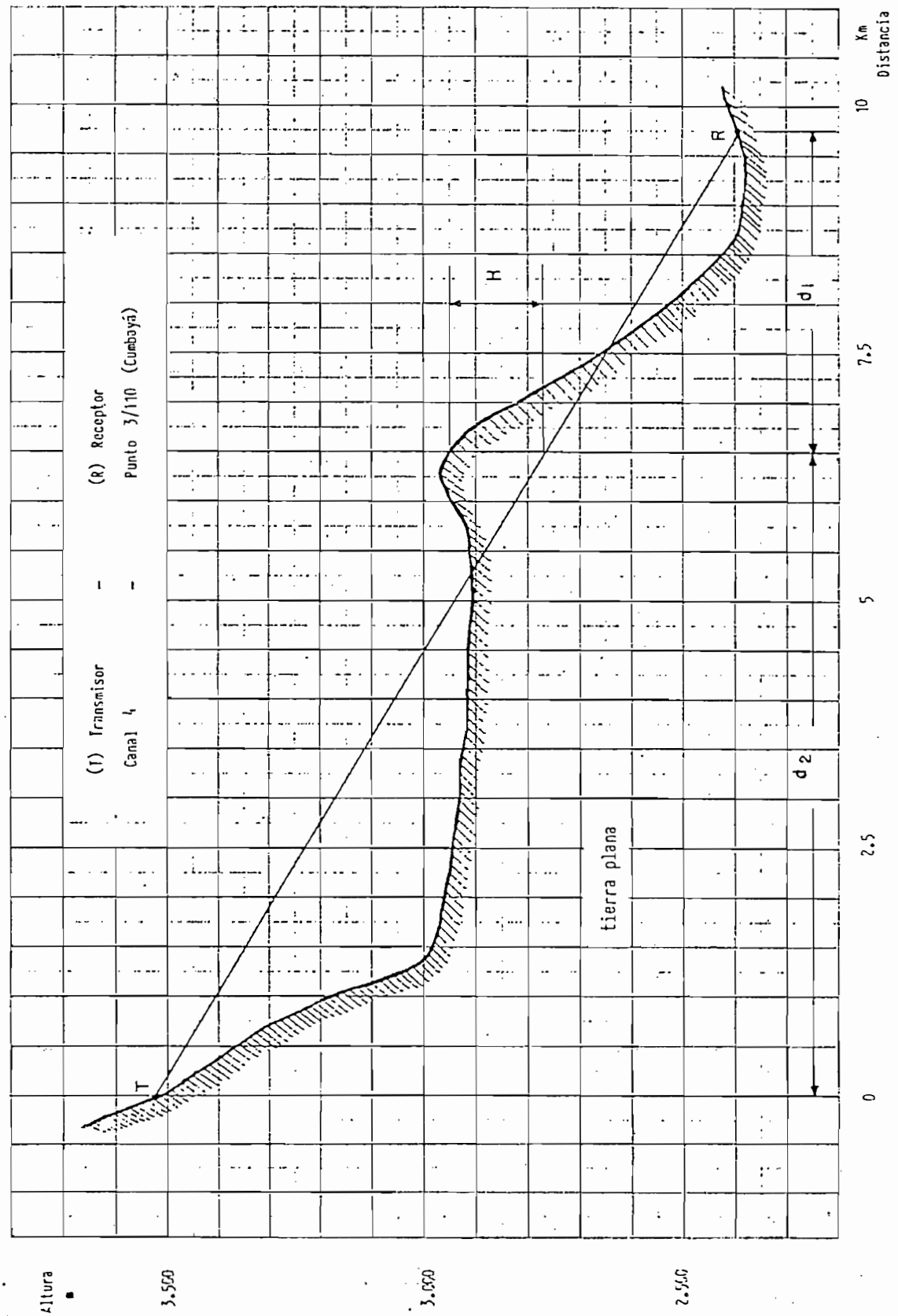
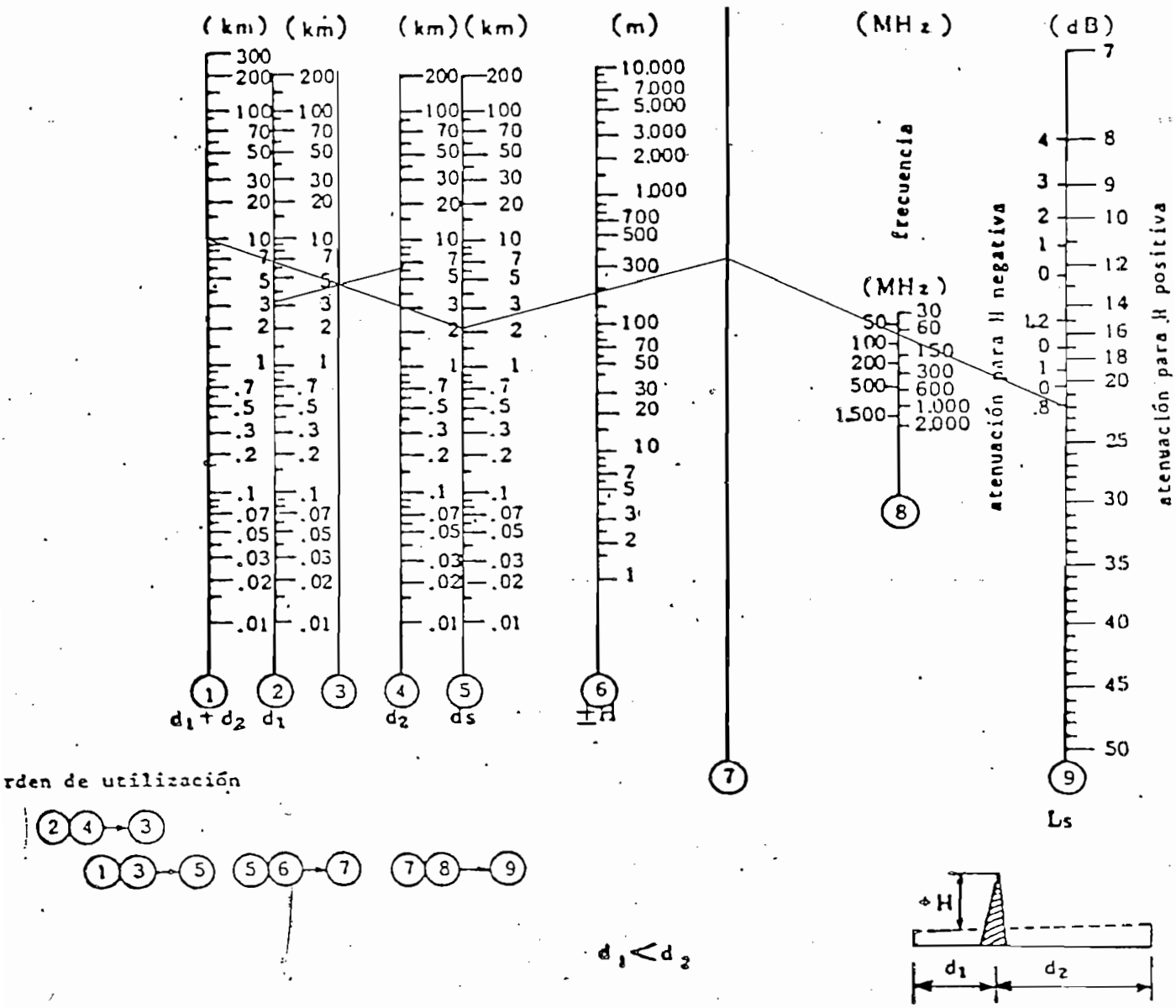

(T) Transmisor
Canal 4
(R) Receptor
Punto 3/110 (Cumbayá)
T
R
H
d1
d2
tierra plana
Altura
3.500
3.000
2.500
0
2.5
5
7.5
10
Km
Distancia

FIGURA 5.4.29



Nomograma para calcular atenuación por cumbre

FIGURA 5.4.30

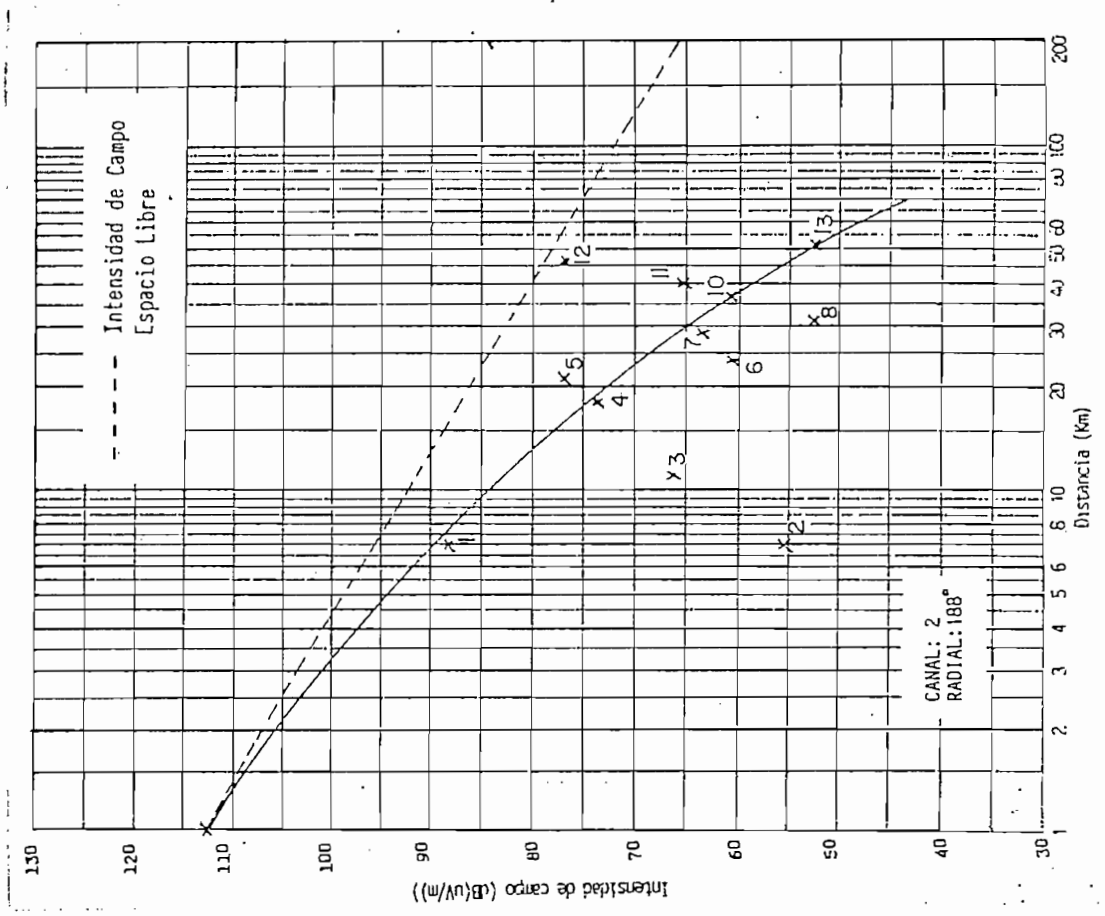


FIGURA 5.4.31

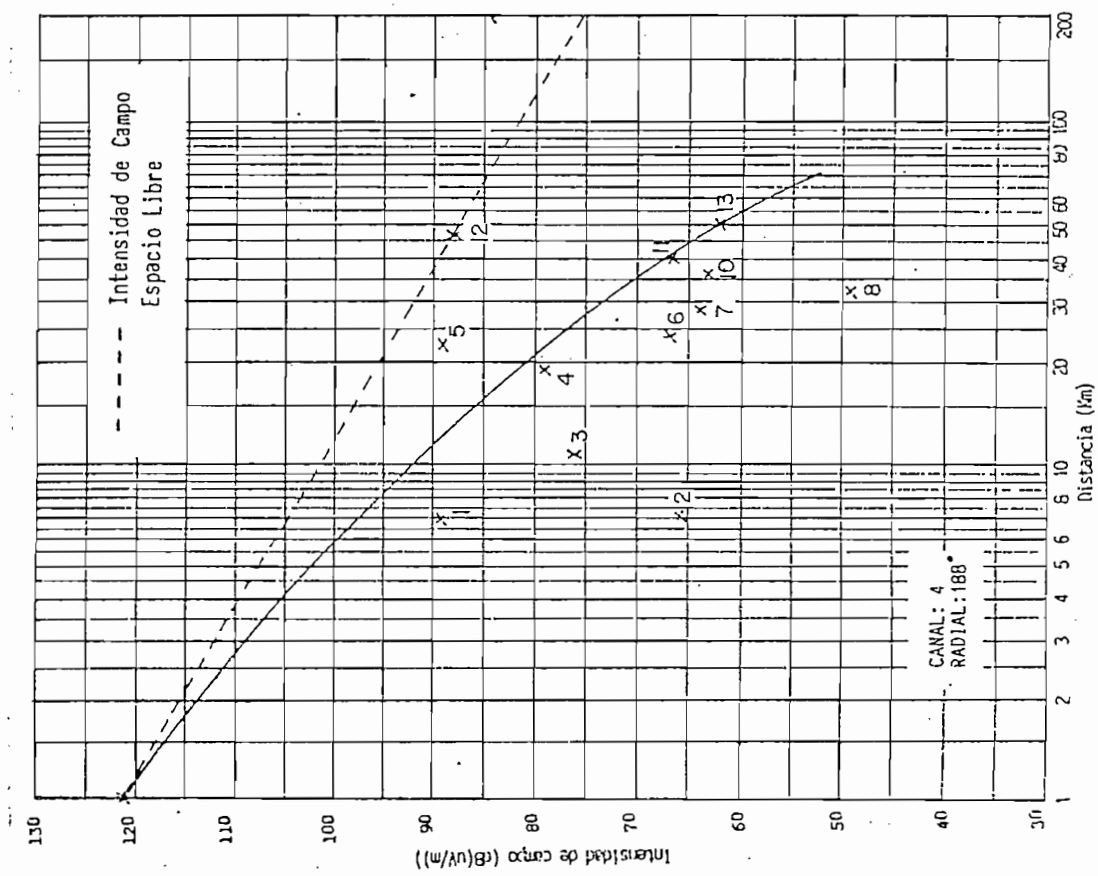


FIGURA 5.4.32

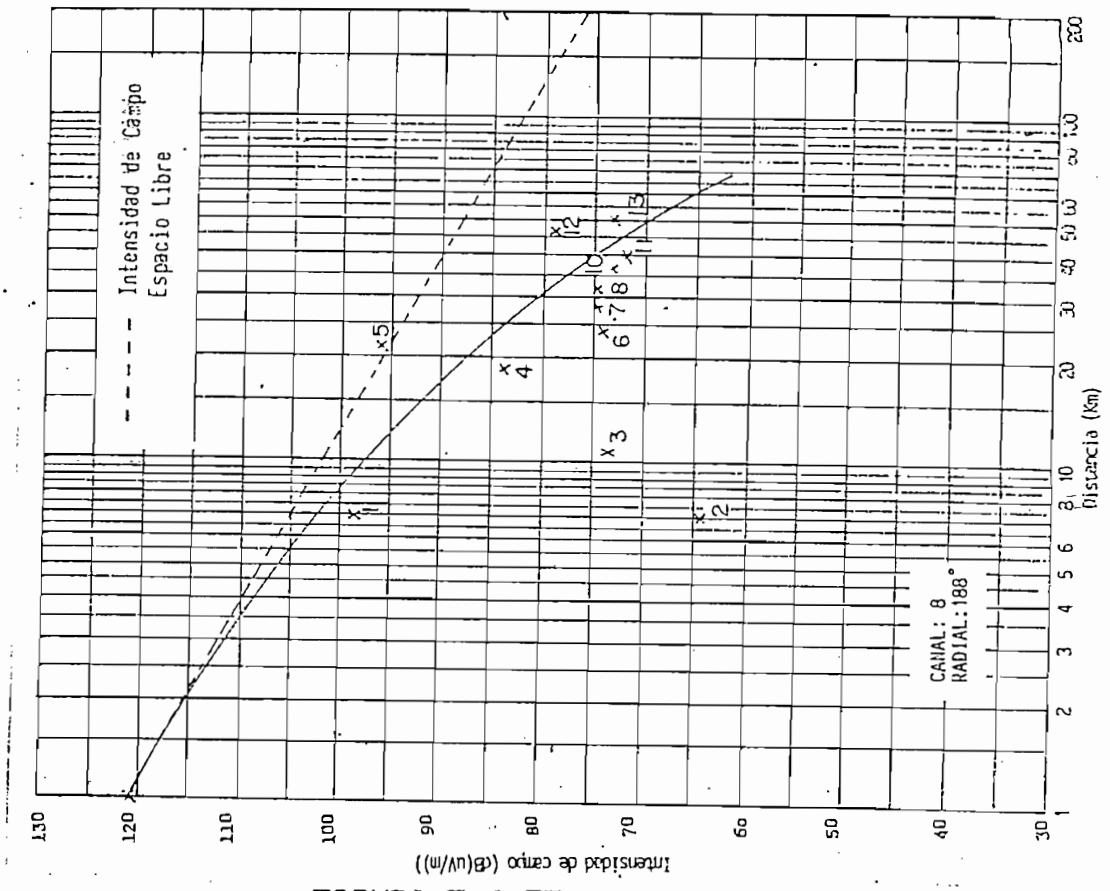


FIGURA 5.4.33

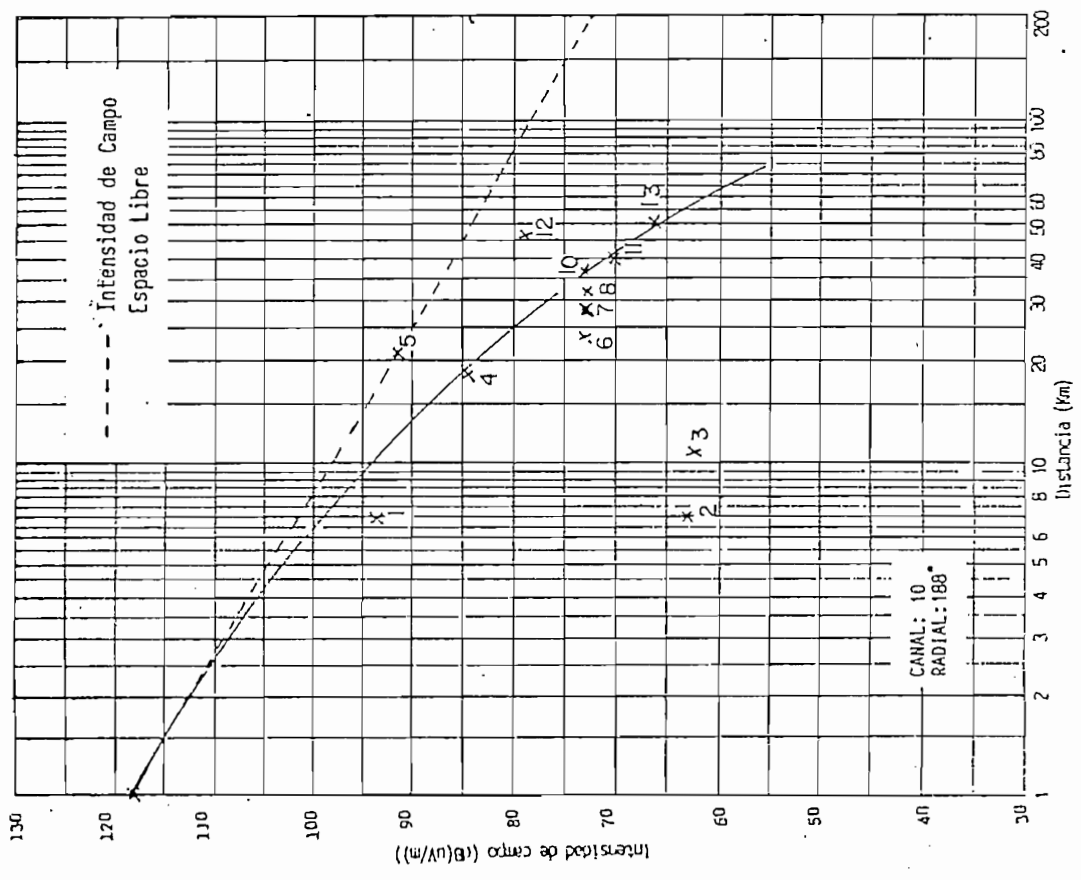


FIGURA 5.4.34

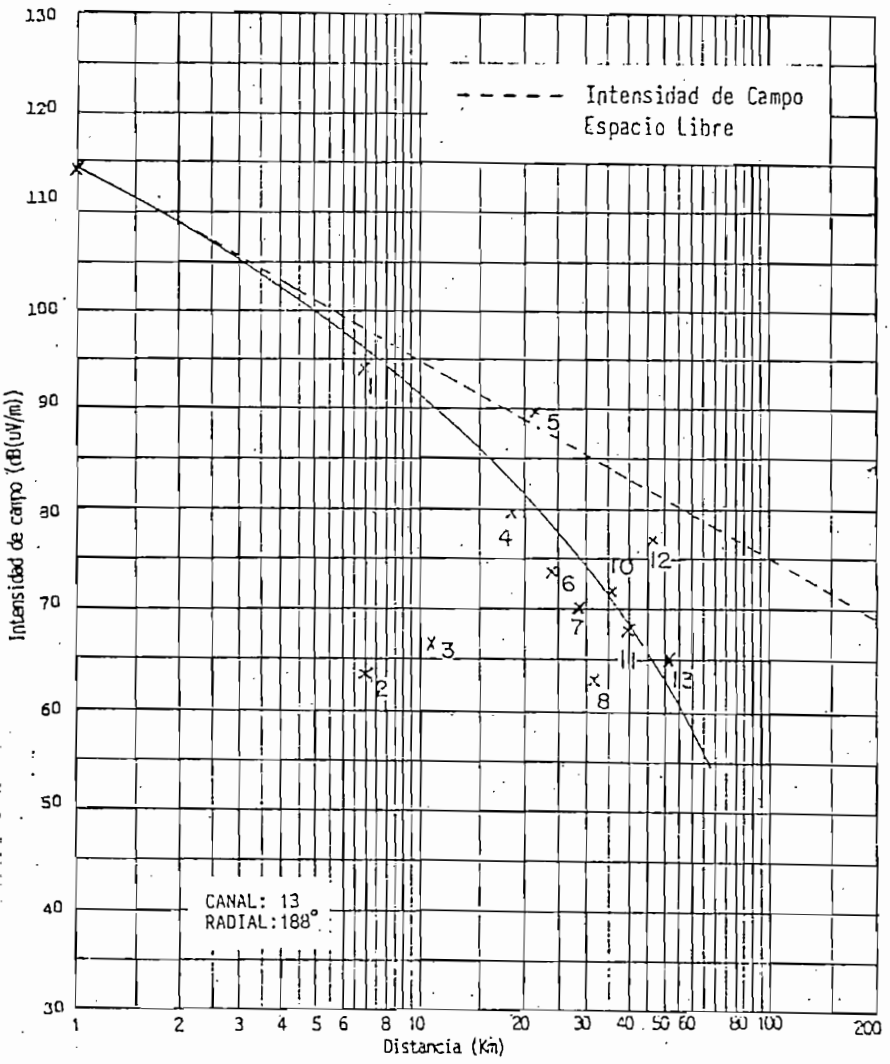

Intensidad de Campo
Espacio Libre
CANAL: 13
RADIAL: 188°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200

FIGURA 5.4.35

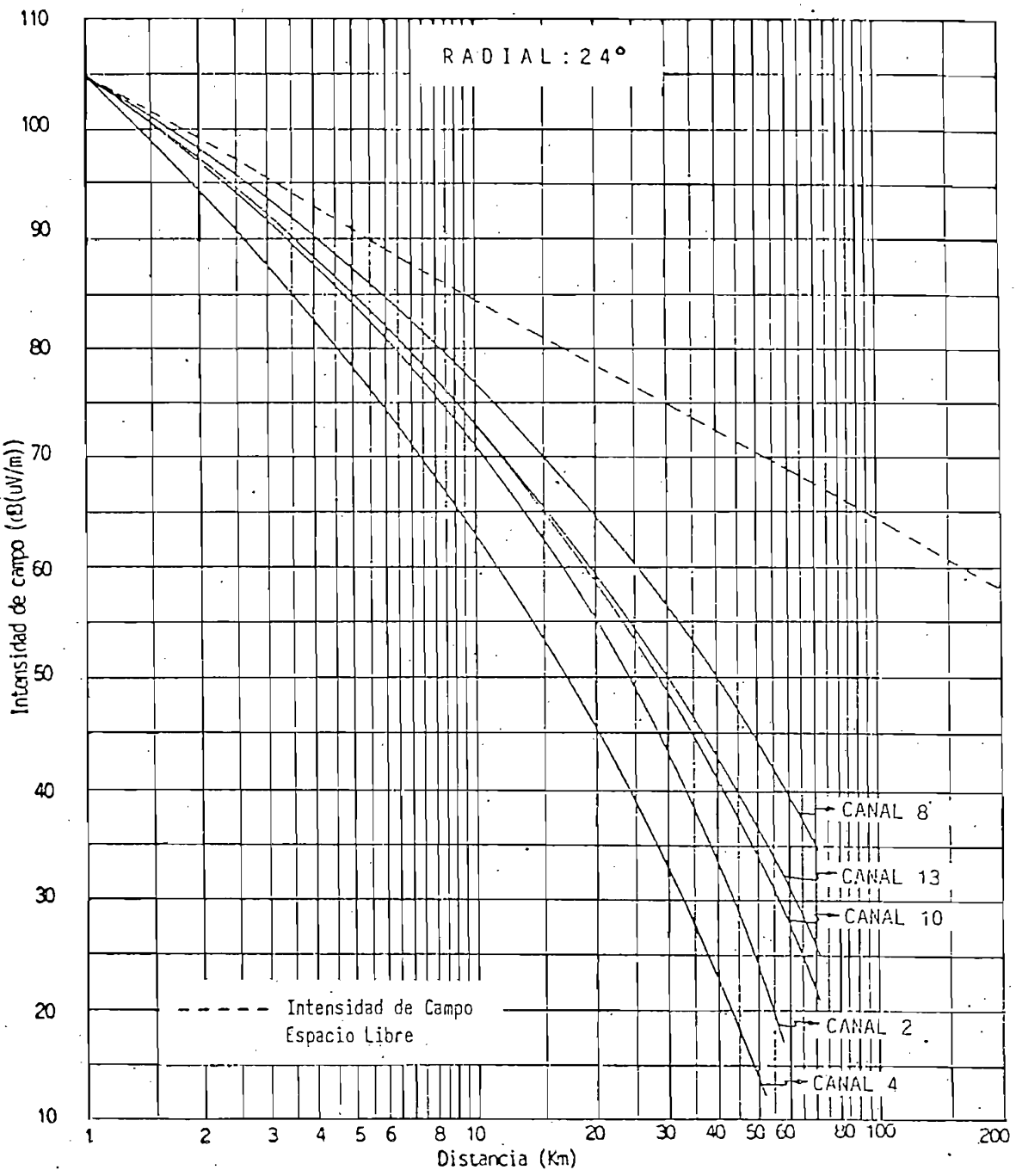

RADIAL: 24°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
CANAL 8
CANAL 13
CANAL 10
CANAL 2
CANAL 4
Intensidad de Campo
Espacio Libre

FIGURA 5.4.36

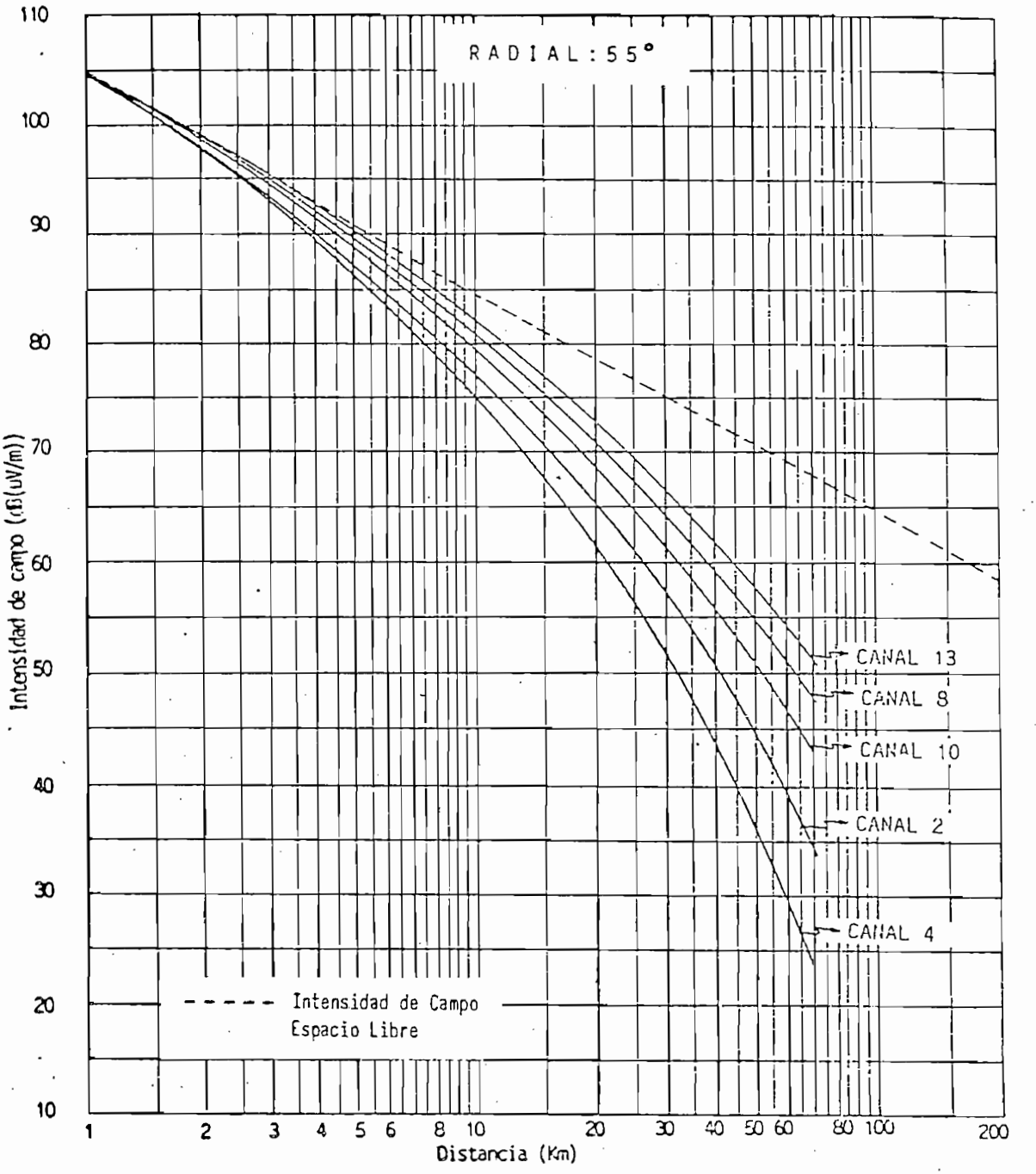

RADIAL: 55°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
CANAL 13
CANAL 8
CANAL 10
CANAL 2
CANAL 4
Intensidad de Campo
Espacio Libre

FIGURA 5.4.37

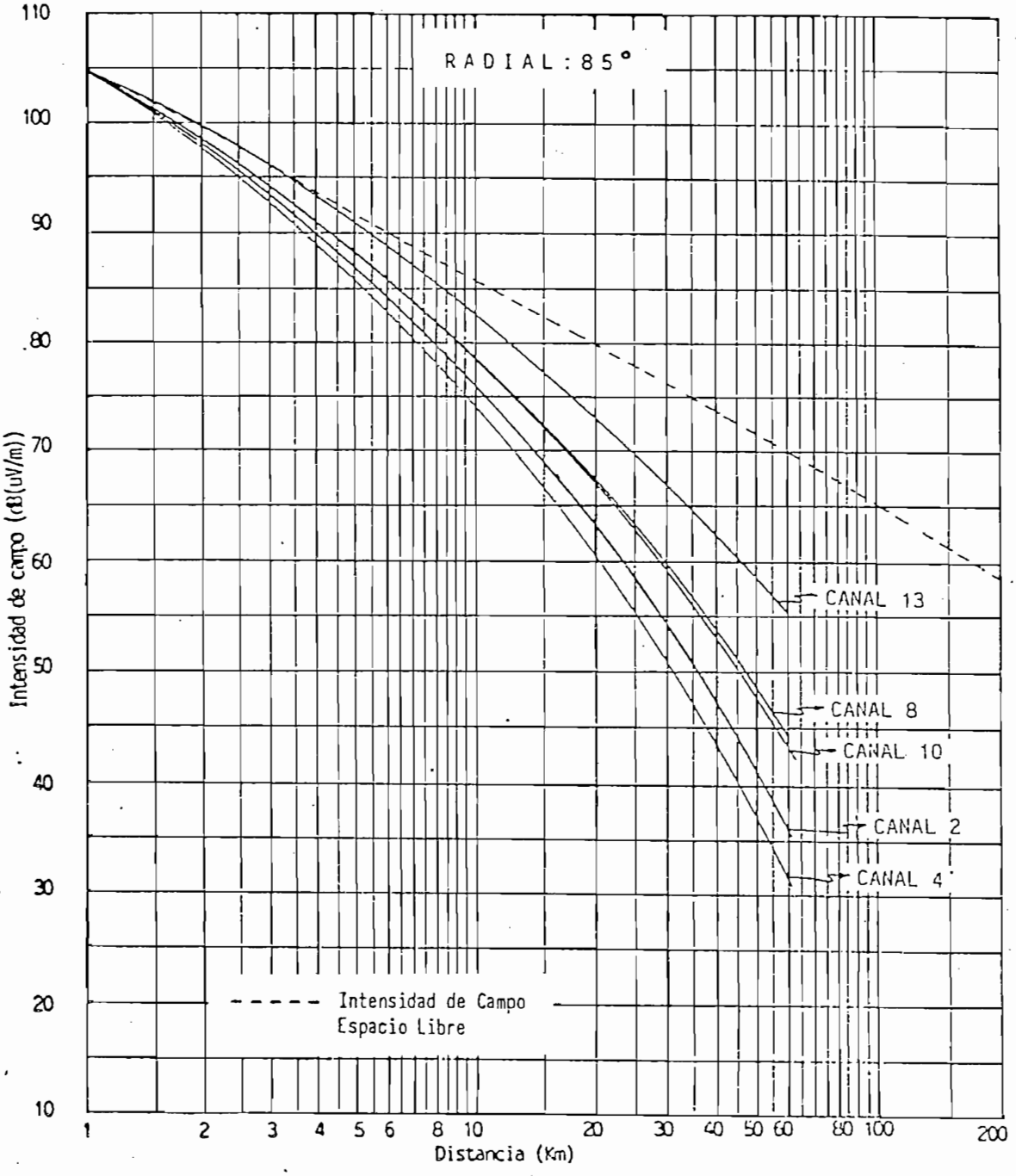

RADIAL: 85°
CANAL 13
CANAL 8
CANAL 10
CANAL 2
CANAL 4
Intensidad de Campo
Espacio Libre
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200

FIGURA 5.4.38

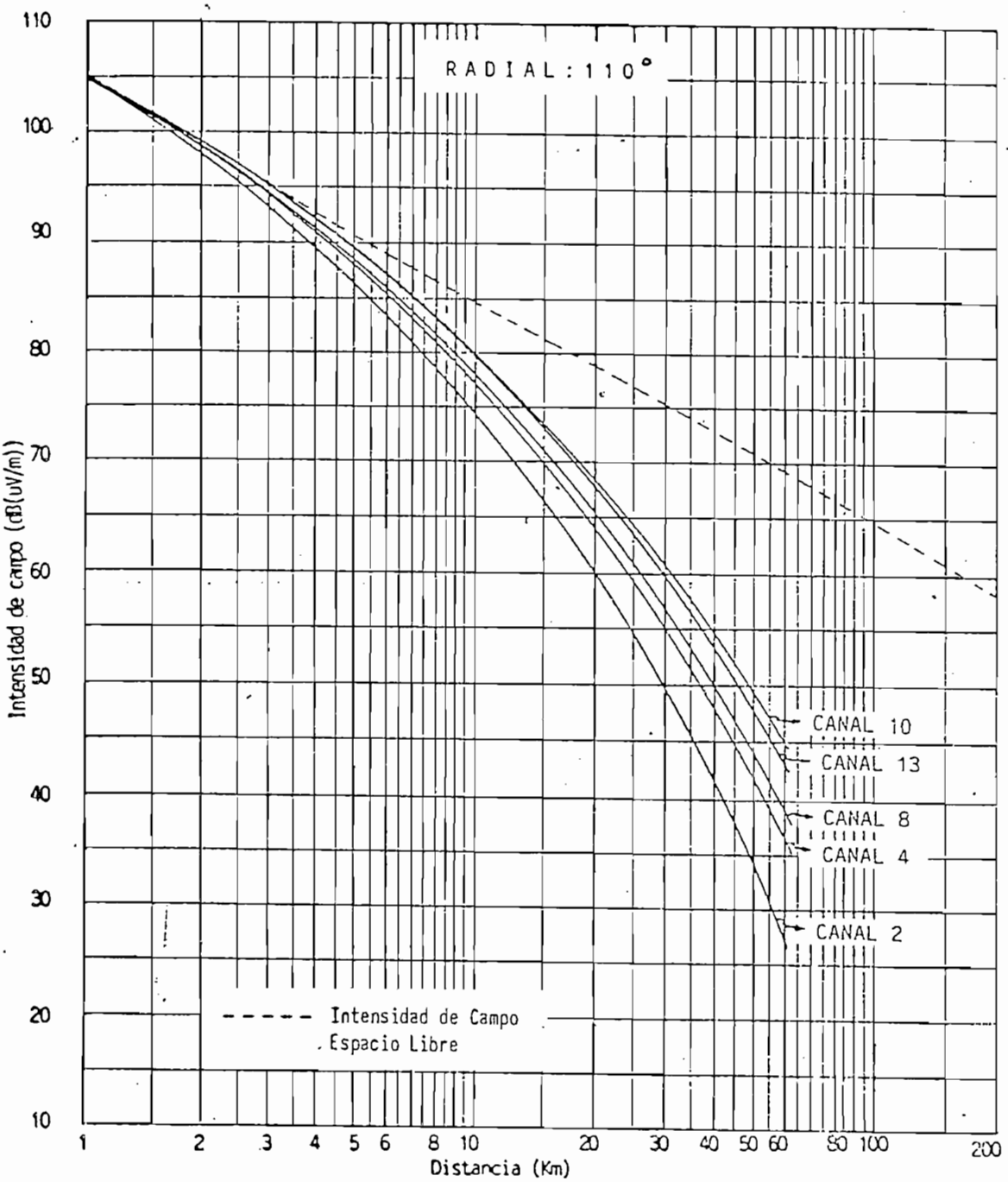

RADIAL : 110°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
CANAL 10
CANAL 13
CANAL 8
CANAL 4
CANAL 2
Intensidad de Campo
Espacio Libre

FIGURA 5.4.39

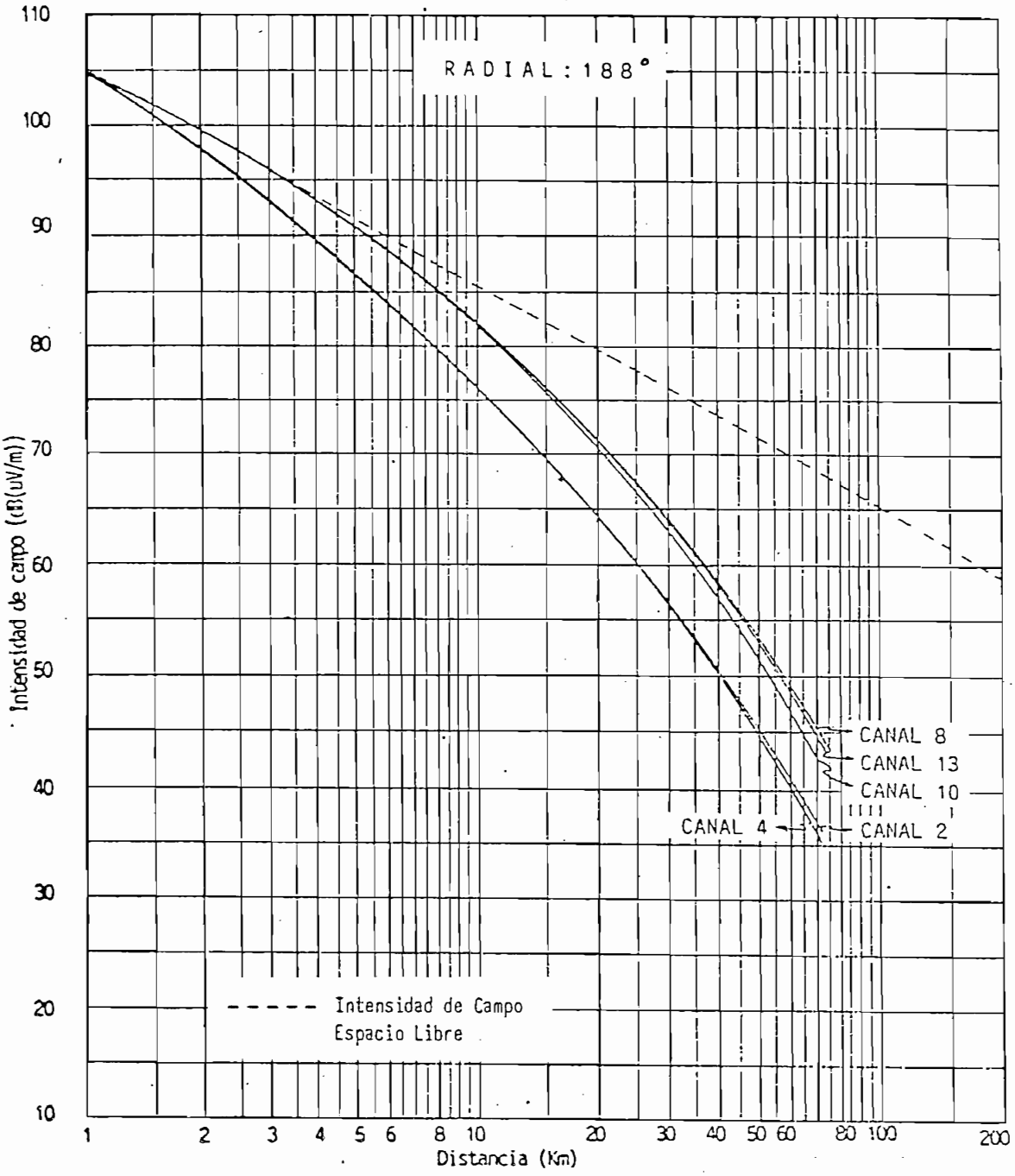

RADIAL : 188°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
CANAL 8
CANAL 13
CANAL 10
CANAL 4
CANAL 2
Intensidad de Campo
Espacio Libre

FIGURA 5.4.40

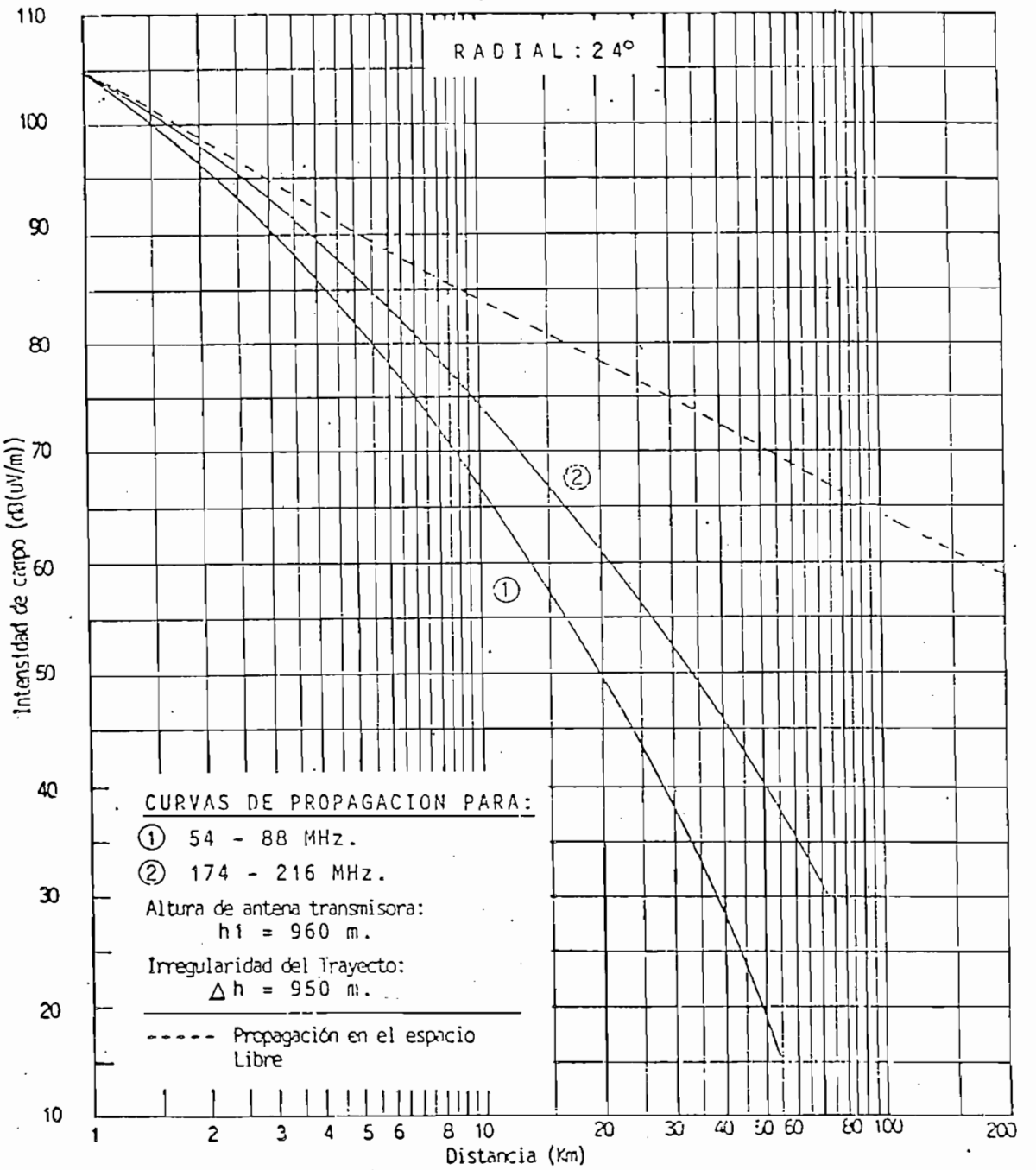

RADIAL : 24°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
①
②
CURVAS DE PROPAGACION PARA:
① 54 - 88 MHz.
② 174 - 216 MHz.
Altura de antena transmisora:
h1 = 960 m.
Irregularidad del Trayecto:
Δh = 950 m.
----- Propagación en el espacio Libre

FIGURA 5.4.41

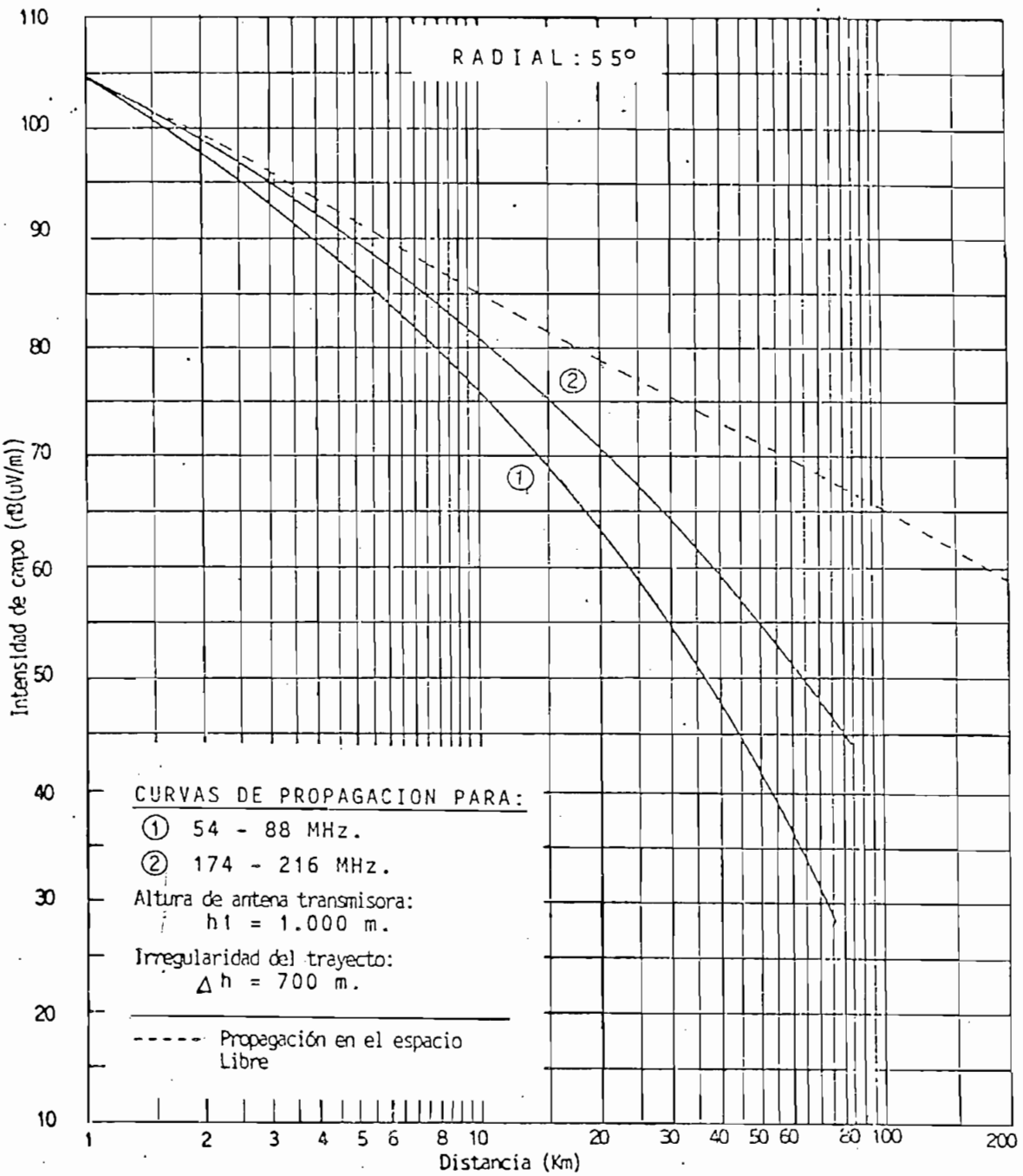

RADIAL : 55°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
①
②
CURVAS DE PROPAGACION PARA:
① 54 - 88 MHz.
② 174 - 216 MHz.
Altura de antena transmisora:
h1 = 1.000 m.
Irregularidad del trayecto:
Δh = 700 m.
----- Propagación en el espacio Libre

FIGURA 5.4.42

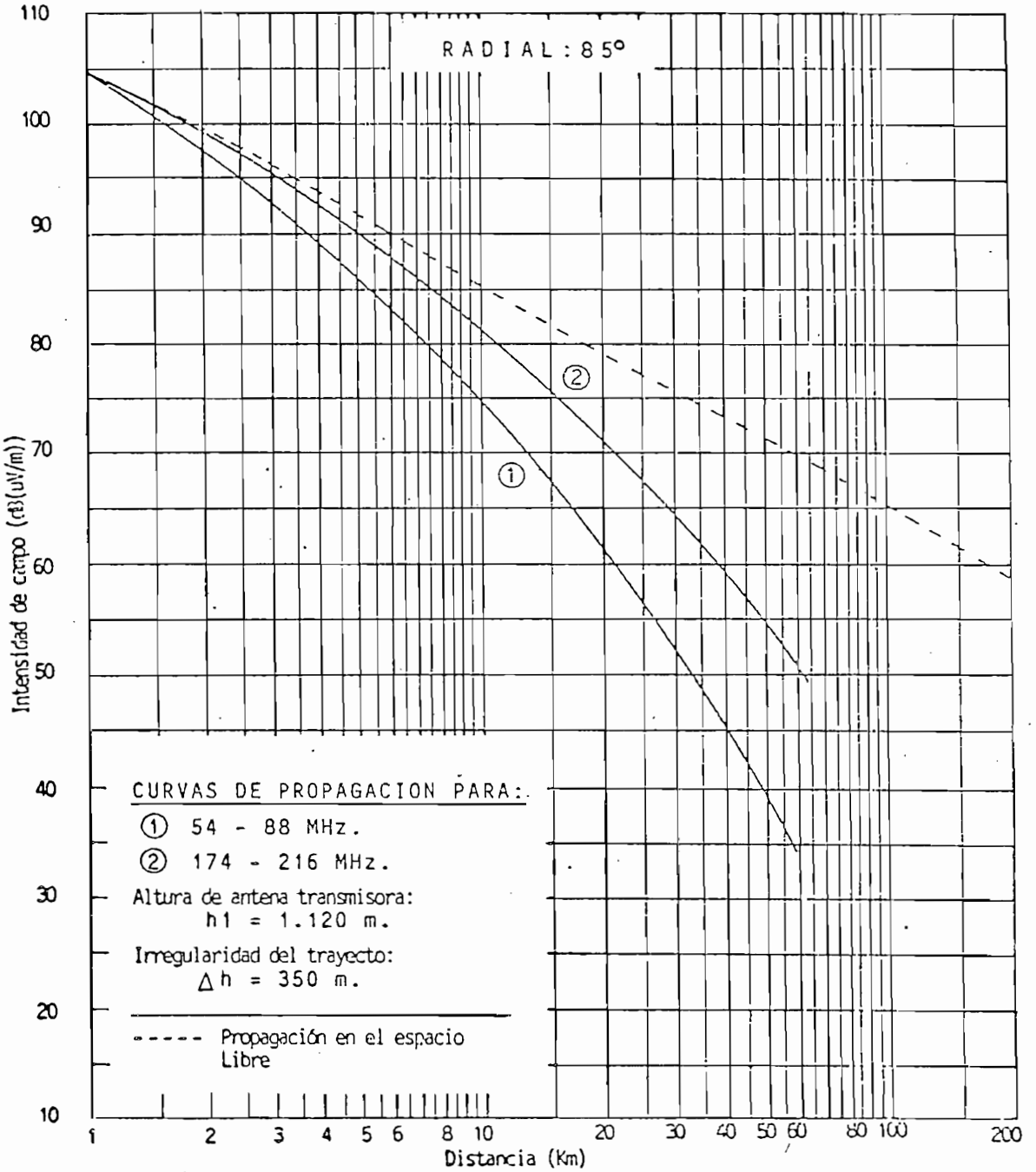

RADIAL : 85°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
Distancia (Km)
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
①
②
CURVAS DE PROPAGACION PARA:
① 54 - 88 MHz.
② 174 - 216 MHz.
Altura de antena transmisora:
h1 = 1.120 m.
Irregularidad del trayecto:
Δh = 350 m.
----- Propagación en el espacio Libre

FIGURA 5.4.43

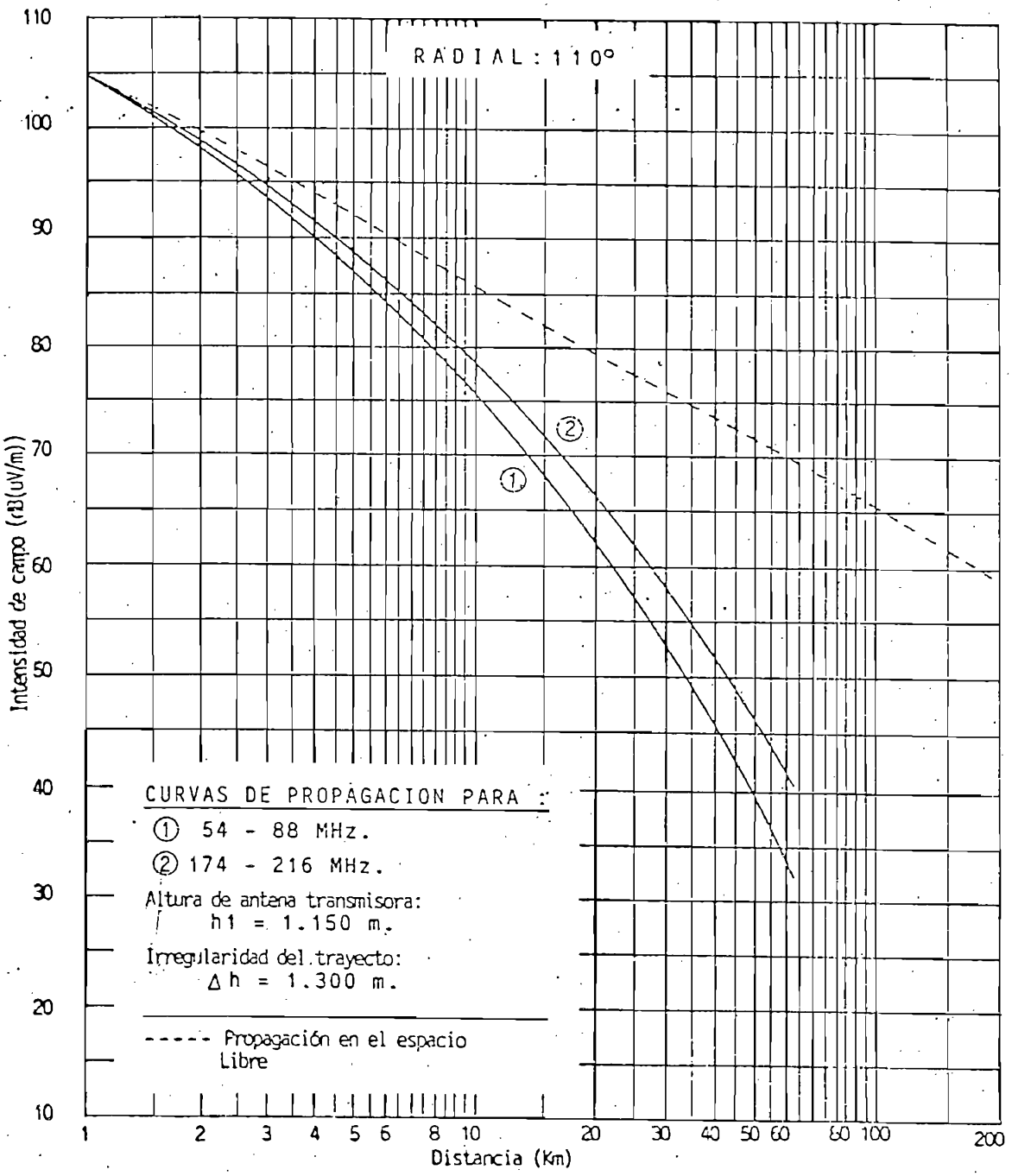

RADIAL: 110°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
①
②
CURVAS DE PROPAGACION PARA :
① 54 - 88 MHz.
② 174 - 216 MHz.
Altura de antena transmisora:
h1 = 1.150 m.
Irregularidad del trayecto:
Δ h = 1.300 m.
----- Propagación en el espacio Libre

FIGURA 5.4.44

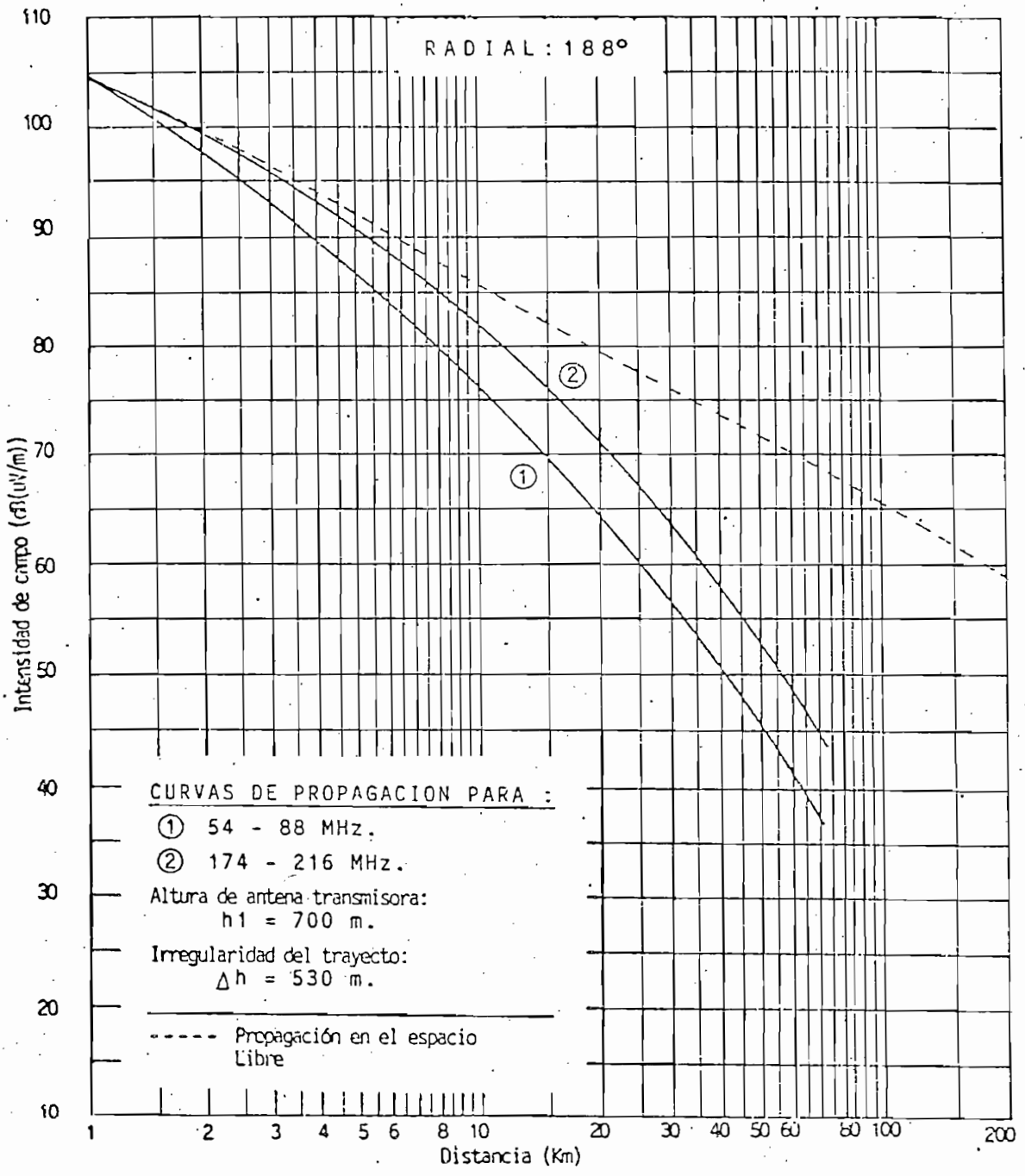

RADIAL : 188°
Intensidad de campo (dB(uV/m))
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
Distancia (Km)
①
②
CURVAS DE PROPAGACION PARA :
① 54 - 88 MHz.
② 174 - 216 MHz.
Altura de antena transmisora:
h1 = 700 m.
Irregularidad del trayecto:
Δh = 530 m.
----- Propagación en el espacio Libre

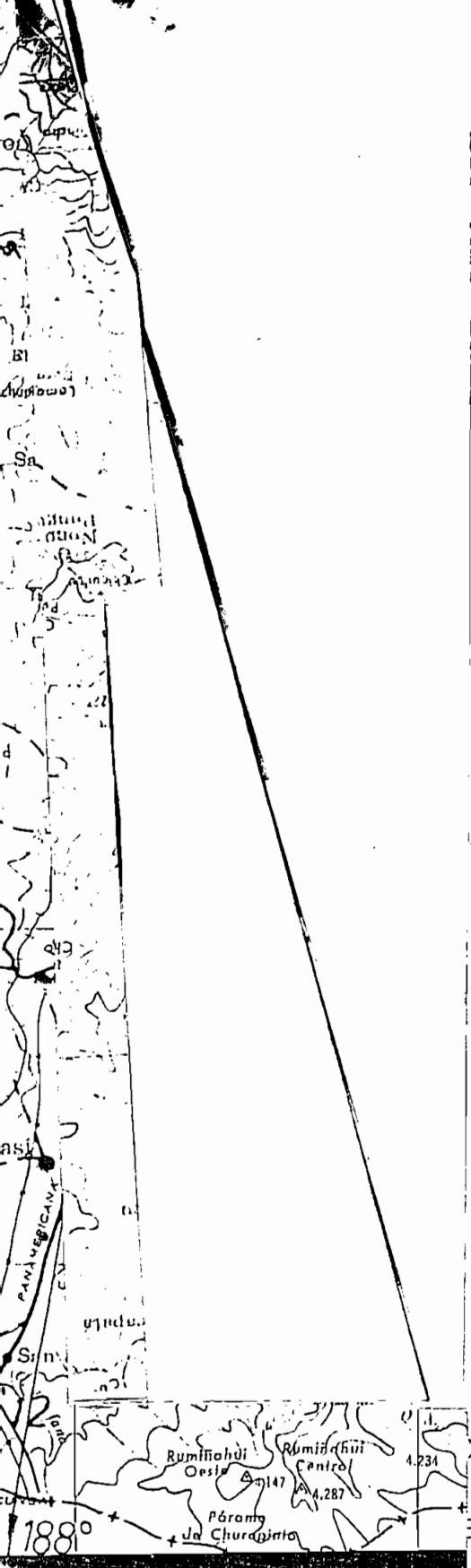
FIGURA 5.4.45

Las curvas de Intensidad de Campo eléctrico dadas en las figuras 5.4.41 a 5.4.45 pueden ser usadas para algunos cálculos de propagación con polarización horizontal y los parámetros indicados en las curvas. Pueden ser usadas para calcular áreas de cobertura, probables interferencias entre canales de televisión, etc.

Para cálculos de propagación entre puntos fijos no es aconsejable el uso de estas curvas, por cuanto existen los métodos específicos indicados en el Capítulo IV para esta clase de cálculos.

Para indicar la manera como se deben usar estas curvas (figuras 5.4.41 a 5.4.45) se han realizado algunos ejemplos que se dan en el ANEXO Nº 1.

****
****
****
****
******
****
**



IÓN POLÍTICO - ADMINISTRATIVOS
LA COMISIÓN ESPECIAL DE
ERNOS DE LA REPÚBLICA

LA 1:200.000

5 10 15 Km

ICH

MAPA I

Página 5-94

C A P I T U L O V I

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

6.1 Comentarios.

6.2 Conclusiones.

6.3 Recomendaciones.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

6.1 COMENTARIOS

Para la realización de las mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico, se han seguido las siguientes etapas:

- Preparatoria
- De mediciones
- De procesamiento de resultados
- Elaboración de curvas de propagación

6.1.1 Etapa Preparatoria

En esta etapa se enfocaron algunos aspectos importantes como son:

6.1.1.1 Elección de las estaciones transmisoras cuya señal se va a medir.

Para poder cubrir una buena parte del rango de frecuencias de VHF, se eligieron los transmisores de televisión ubicados en el cerro Pichincha, por tener en ese lugar los canales 2 (54-60 MHz), 4 (66-72 MHz), 8 (180-186 MHz), 10 (192-198 MHz) y 13 (210-216 MHz) que están dentro de la mayor parte del rango de VHF (54-216 MHz).

6.1.1.2 Obtención de los datos de ubicación exacta de la estación transmisora con coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar.

Estos datos se obtuvieron de inspecciones a los sitios donde se hallan los transmisores de televisión y luego de haberlos ubicado en una carta topográfica *(Nono y Quito)*.

6.1.1.3 Ubicación en cartas topográficas de las antenas transmisoras de las estaciones que se van a medir, trazado de los radiales y puntos de medición.

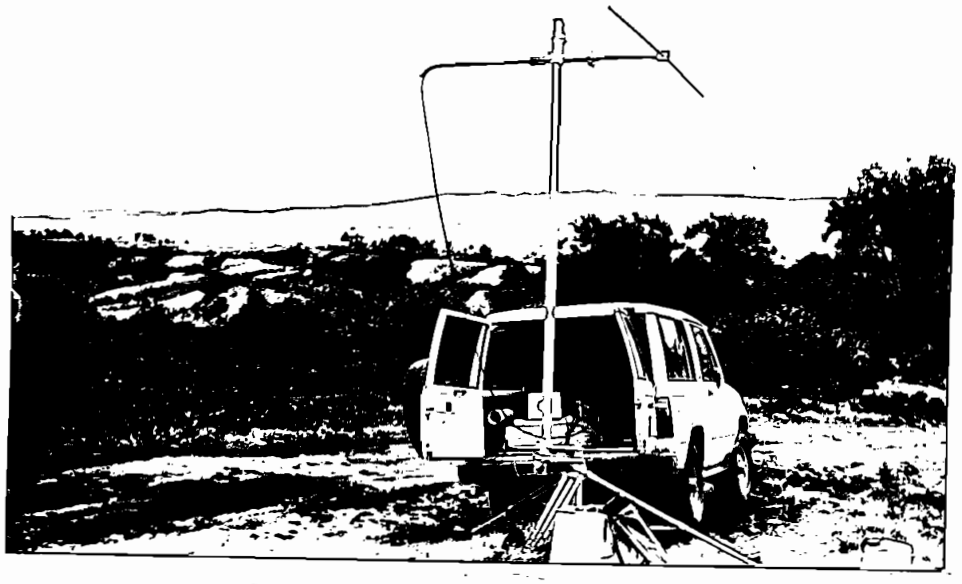
Una vez ubicados los puntos de transmisión, para trazar los radiales se tomó en cuenta la existencia de caminos para poder asegurar el acceso a cada punto que se quiere medir, luego cada punto de medición se previó que esté separado del anterior ± 5 Km para obtener una buena muestra en las mediciones.

Además, para la ubicación de los puntos de medición se consideró la topografía del terreno, tratando de hacer que los valores que se obtengan de la medición en cada punto, sea realmente una muestra de los valores que se obtendrían en la región a la que pertenece el punto.

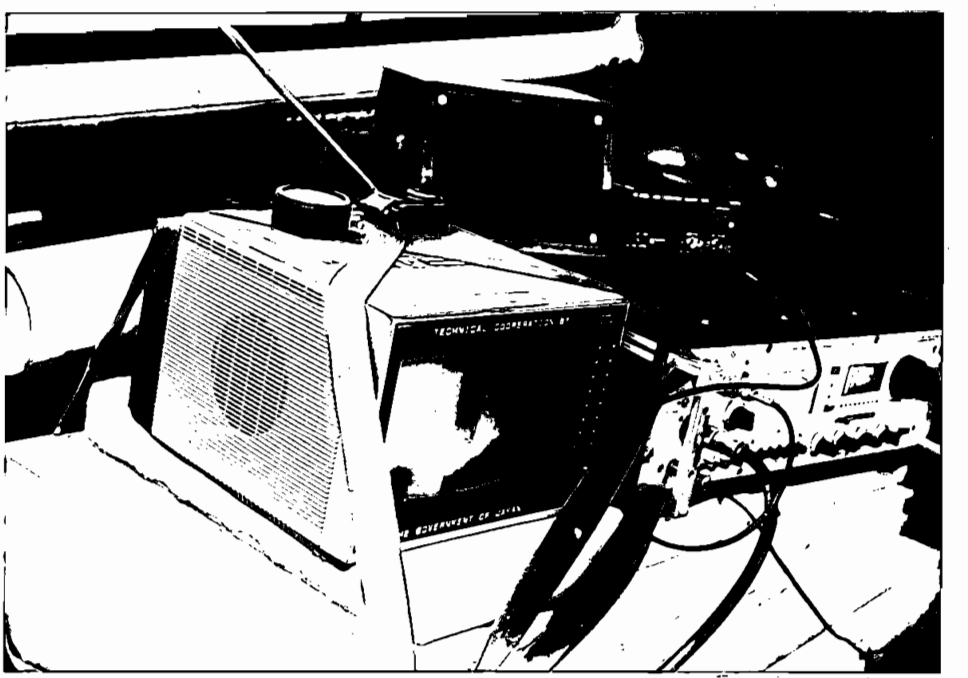
6.1.1.4 Preparación del equipo de mediciones.

En esta fase se probó el equipo de medición de intensidad de campo (HFFU-2), para lo cual se realizaron mediciones locales para poder considerar las necesidades posteriores de personal, vehículo y equipo accesorio.

Se estableció la necesidad de usar un vehículo de doble transmisión (tipo jeep) en el que viajarían dos personas (chofer y operador quien se encargaría de las mediciones), además se estableció la necesidad de llevar a las mediciones una brújula, un altímetro, un televisor, un parlante y una planta eléctrica. Quedando el vehículo como se muestra en las *fotografías 6.1.1* y *6.1.2*.



FOTOGRAFIA 6.1.1



FOTOGRAFIA 6.1.2

6.1.2 Etapa de Mediciones

Durante esta etapa y antes de cada salida había que asegurarse de disponer de todo el equipo necesario, y además, mediante mediciones de comprobación técnica, verificar el normal funcionamiento de las estaciones a medirse.

En los puntos de medición, se debe asegurar de estar realmente en el lugar indicado en el mapa. Para ello se toma en cuenta los detalles topográficos existentes en

la zona y se los compara con los del mapa del sitio. La característica de la antena *Log-periódica* de ser directiva nos dá información del azimut (radial) sobre el que se mide.

Generalmente cuando se realizan estas mediciones, el operador debe afrontar problemas circunstanciales como los que a continuación se detallan.

6.1.2.1 Cercanía a líneas de alta tensión o cables de energía eléctrica, en este caso, es conveniente alejarse de las líneas una distancia aproximada de 200 m en los casos en que el terreno lo permita, de lo contrario hay que tomar varias muestras para de éstas, determinar el valor más adecuado.

6.1.2.2 Dentro de sectores poblados con edificaciones de más de 3 m de altura, en este caso es aconsejable salirse de estos centros, procurando no apartarse de la zona de medición o realizar las mediciones en parques o terrenos desocupados en los que permitan el ingreso y describir el punto de medición para el análisis posterior.

6.1.2.3 Cercanía a bosques, generalmente, no es posible alejarse de estos lugares sin separarse mucho de la zona de medición, por lo que hay que realizar varias mediciones para poder escoger la más real y describir el lugar para

posteriores análisis.

6.1.2.4 Tras de montañas, se debe realizar las mediciones anotando una descripción clara del lugar.

6.1.2.5 Lugares inaccesibles, se debe proceder a un cambio en el punto de medición, ubicando el nuevo punto en la carta topográfica y anotando la descripción del nuevo lugar.

6.1.3 Etapa de procesamiento de resultados

Una vez realizadas las mediciones, como los resultados de estas son voltajes de entrada al receptor, se procedió a completar los cuadros con los valores de intensidad de campo, calculando para cada canal el valor de k (constante en dB que depende de la antena de recepción). Además en los lugares que se habían cambiado se completaron los cuadros con las coordenadas geográficas, nombre del lugar, etc.

Para verificar los resultados y saber si son válidos o no, se obtuvo también la intensidad de campo en el espacio libre para cada punto y para cada canal de televisión y se vió si las pérdidas existentes en el trayecto para cada punto de medición podían justificarse de acuerdo a la descripción del lugar en donde se reali-

zaron las mediciones.

6.1.4 Etapa de elaboración de curvas de propagación

Una vez establecidas las mediciones a utilizarse, se procedió a pasar los valores de intensidad de campo y distancia, desde los cuadros de mediciones, a papel semilogarítmico para cada transmisor en todos los radiales, obteniéndose las curvas de las **figuras 5.4.1** a **5.4.35**. Luego estas curvas fueron normalizadas para una potencia efectiva radiada de 1 Kw, obteniéndose las curvas de las **figuras 5.4.36** a **5.4.40**, en las que se encuentran cinco diferentes curvas que pertenecen a los cinco transmi- sores medidos en cada radial.

Finalmente y para ofrecer mayor facilidad en su uso, se obtuvieron las curvas de las **figuras 5.4.41** a **5.4.45**, en las que se han agrupado en una sola curva las de los canales bajos y en otra los canales altos.

6.2 CONCLUSIONES

En este tema, principalmente se ha querido establecer un modelo para posteriores estudios de propagación en las diferentes bandas de frecuencia y para las diferentes

regiones del país; y por los resultados obtenidos, este estudio ha servido para el fin propuesto.

Realizando un análisis de los resultados, se ve claramente que a diferencia de las curvas teóricas de propagación, las curvas obtenidas en este estudio muestran que para las frecuencias menores, canales bajos (dentro de la banda de VHF), las señales sufren una mayor atenuación que en las frecuencias más elevadas, esto se debe a que las irregularidades de nuestro territorio para las frecuencias más bajas dan como resultado, en muchos casos, obstrucciones a la primera zona de Freznel (que es de mayores dimensiones para las frecuencias menores), lo que no pasa en las frecuencias más elevadas.

Por ser la sierra ecuatoriana una zona muy montañosa cobra una gran importancia la altura de la antena transmisora ya que con mayor altura de antena se consigue sobrepasar obstáculos que de otra manera, obstruirían las señales radioeléctricas, que en la banda de VHF se ha demostrado que se propagan principalmente por línea de vista.

Por las razones expuestas anteriormente y analizando los resultados, se puede concluir que si se quiere obtener un alcance máximo con una potencia dada para la transmisión de la televisión, se debe procurar la máxima

altura posible de antena de transmisión.

Este estudio hubiera sido posible mejorarlo tomando un mayor número de mediciones en un mayor número de radiales, pero la naturaleza de nuestro territorio hace que exista una falta de vías de comunicación impidiendo de esta manera el acceso a puntos en los que se necesitarían mediciones, para establecer con claridad los resultados. Además el equipo utilizado, por no ser portátil, impide una mayor movilización y esto obliga a realizar todas las mediciones en lugares donde existe fácil acceso.

Por la dificultad de acceso, a muchos lugares, por la falta de carreteras, los resultados que se han obtenido sirven para dar una idea general de la propagación de las señales radioeléctricas en la zona de la Provincia de Pichincha. Las curvas presentadas **(figuras 5.4.41 a 5.4.45)** sirven para: Cálculos de áreas de cobertura, planificación para asignación de nuevas frecuencias y estudios de interferencias que podrían surgir por nuevas asignaciones. Para cálculos de propagación entre puntos fijos (aún dentro de la zona de la Provincia de Pichincha), es aconsejable usar los métodos conocidos (como el análisis de pérdidas descrito en el **Capitulo IV**), ya que en este caso se puede conocer el perfil específico del trayecto y hacer el análisis correspondiente.

6.3 RECOMENDACIONES

Para futuras mediciones sería recomendable el uso de equipo portátil para poder realizar mediciones de intensidad de campo en lugares que resultan inaccesibles por la falta de carreteras, para esto se necesitaría conformar un grupo de personal preparado para el efecto.

Lamentablemente en el presente estudio no hubo la posibilidad de usar un mástil que permita tener una altura de antena receptora de 10 m que es lo aconsejable en las mediciones de intensidad de campo, por lo que sería recomendable para las futuras campañas de medición, que se disponga de unidades móviles adecuadas, con mástiles capaces de elevarse a alturas de 10 m por lo menos, para este tipo de mediciones.

Al hacer mediciones, en un lugar donde existen varias estaciones transmisoras a estudiarse, se debe preveer la existencia de al menos dos grupos de mediciones, de suerte que las mismas sean realizadas en el menor tiempo posible, para lograr de esta manera una mayor seguridad en cuanto a la estabilidad de los transmisores.

En esta clase de estudios, resulta recomendable disponer de dos grupos de trabajo, que realicen simultáneamente las actividades de mediciones y análisis de resul-

tados; porque de esta manera se podría repetir ciertas mediciones dudosas o que no concuerdan con los cálculos, sin que transcurra un largo intervalo de tiempo en el cual podrían variar las características de las estaciones transmisoras medidas.

Además, manteniendo los dos grupos de trabajo sería posible realizar mediciones en lugares donde se necesiten hacer análisis más específicos de la atenuación que sufren las señales. Esto serviría para regresar a los puntos de medición para tomar nota mas detallada de las condiciones de recepción. Se podría de esta manera, establecer clases de bosques con sus diferentes atenuaciones, clases de accidentes del terreno con sus atenuaciones, también se podría establecer la forma en que influyen las líneas de transmisión eléctrica cercanas, etc...

Sería,además, de mucha utilidad, disponer de equipos transmisores que posibiliten la operación en diferentes frecuencias y trayectos, para de esta manera poder realizar estudios especiales.

Por ser la Dirección Nacional de Frecuencias la entidad encargada, en nuestro país, de la administración del Espectro Radioeléctrico, es también, la entidad encargada de realizar estudios especiales y específicos que

son: El análisis de diferentes fenómenos, tales como difracción (en los diferentes tipos de obstáculos), reflexión (en distintas clases de terreno) y refracción (en todas las regiones del país). Solo de esta manera se podrían establecer con seguridad los valores de atenuación que se deben usar para los estudios de propagación en nuestro país, y además, se estaría colaborando (el Ecuador como miembro de la UIT) con el Programa de estudios 1A-2/5 del CCIR expuesto en la XV Asamblea Plenaria en Ginebra, en 1982, *"Efectos de los Accidentes del Terreno y de la Vegetación en la Propagación Troposférica"*, que expone:

"El CCIR

CONSIDERANDO

a) Que es muy conveniente proseguir los estudios en relación con la propagación troposférica de las ondas en medios correspondientes a terrenos accidentados;

b) Que es de suma importancia, en la práctica, la propagación sobre las cumbres de las altas montañas;

c) Que la presencia de obstáculos puede modificar en gran medida el valor medio de la pérdida de la transmisión asi como la amplitud de los desvanecimientos;

d) Que en los estudios sobre la interferencia, tiene gran importancia práctica, el efecto de pantalla del terreno,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Influencia de la presencia de mas de un obstáculo en un trayecto de propagación.

2. Influencia del radio de curvatura y de la naturaleza del terreno en la cumbre de una montaña.

3. Atenuación y variación del ángulo de llegada debidas a accidentes del terreno y a la existencia de estructuras conductoras, tanto para ubicaciones situadas dentro de las zonas de servicio que circundan a un transmisor como para ubicaciones receptoras a distancias mayores.

4. Propagación en zonas urbanas.

5. Efectos de pantalla debidos a obstáculos en las proximidades de una estación, teniendo en cuenta los mecanismos de propagación del trayecto.

6. Influencia de los accidentes del terreno y de la vegetación en las variaciones a corto y largo plazo de la pér-

dida de transmisión.

7. Problemas asociados con la polarización de las ondas radioeléctricas cuando está influenciada por los accidentes del terreno y por la existencia de estructuras conductoras por encima del mismo.

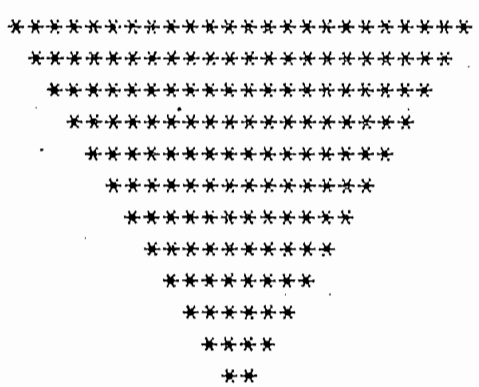
8. Atenuación y variación de fase en función de la distancia.

9. Condiciones en que se produce una ganancia de obstáculo y variaciones a corto plazo de la pérdida de transmisión, en tales condiciones."

Considero que el Ecuador es uno de los países que tiene posibilidad de colaborar con estos estudios, ya que su territorio se presta, por ser muy accidentado (en algunas regiones), para esta clase de trabajos, con lo que, también, se estaría ayudando en la cuestión 7-2/5 del CCIR expuesta en la XV Asamblea Plenaria de Ginebra en 1982, *"Curvas y Datos de Propagación en Frecuencias Superiores a 30 MHz para los Servicios de Radiodifusión, Móviles y de Radiodeterminación"*, en la que se decide por unanimidad poner a estudio la siguiente cuestión:

"1. En qué grado dependen la intensidad de campo o la

pérdida de transmisión; del tiempo, clima, frecuencia, polarización, distancia, altura de las antenas, naturaleza del terreno y de los efectos de la vegetación, edificios y otras construcciones, asi como, del ángulo de elevación, en el caso de comunicaciones por satélite ?".



ANEXO Nº 1

Para mostrar la utilización y al mismo tiempo demostrar la facilidad que prestan las curvas dadas en el capítulo V, a continuación se proponen ejemplos prácticos que son los casos mas comunes que se pueden encontrar en estudios versados dentro de la Ingeniería de Comunicaciones:

a) Hallar la intensidad de campo que se tendrá a cierta distancia del transmisor dados los parámetros de éste y del terreno.

b) Hallar la distancia a la que se tendría un valor requerido de intensidad de campo dados todos los parámetros de transmisión y características del terreno.

c) Encontrar la potencia que se deberá tener en un transmisor dadas las características de transmisión, ubicación y zonas a servir; para lograr cierto valor de intensidad de campo a una distancia determinada.

a) Determinación de la intensidad del campo eléctrico a una cierta distancia del transmisor.

Ejemplo:

Sea un transmisor de 2.5 Kw situado a una altura sobre el nivel medio del terreno de h_1=1000 m transmitiendo en la frecuencia f=77.25 MHz (portadora de video de canal 5_{TV}) hacia un terreno con un Δh=700 m y con una ganancia de antena en esa dirección G=9 dB. Se desea conocer qué intensidad de campo se tendrá a 50 Km del transmisor.

Solución:

Se debe calcular como primer paso, la potencia efectiva radiada en la dirección dada, para esto debemos cambiar de unidades a la potencia de transmisión (Pt) y pasarla a dB.

$$Pt[dB] = 10 \log Pt[w]$$

$$Pt = 2.5 \text{ Kw} = 34 \text{ dBw}$$

Utilizando la ecuación 3.3.3.2 y suponiendo L=3 dB.

$$Per = Pt + G - L \text{ [dB]}$$

$$Per = 34 + 9 - 3 \text{ [dB]}$$

$$Per = 40 \text{ [dBw]}$$

Por los datos presentados se necesitará utilizar la curva (1) presentada en la figura 5.4.42, en la que se lee para 50 Km una intensidad de campo de 42 dB(uv/m).

Por ser en este caso, la potencia efectiva radiada de 40 dB y la Potencia efectiva radiada (Per) para la cual están echas las curvas es de 30 dBw, entonces a la intensidad de campo leída debemos aumentar 10 dB que es la diferencia existente entre las dos potencias efectivas radiadas, dando como resultado, a una distancia de 50 Km, una intensidad de campo de E=52 dB(uv/m)=(398 uv/m).

----- o -----

b) Determinación de la distancia a la que se tendría cierto valor de Intensidad de Campo.

Ejemplo:.

Sea un transmisor cuya potencia de salida es Pt=8 Kw con una antena transmisora situada a una altura sobre el nivel medio del terreno de h_1=700 m radiando en la frecuencia f=187.25 MHz (portadora de video de canal 9_{TV}), hacia un trayecto con un Δh=530 m con una ganancia de antena en esa dirección de 6 dB.. Se desea conocer la distancia a la que se tendrá una intensidad de campo de 74 dB(uv/m)=(5 mv/m).

Solución:

De manera similar al caso a), se calcula la Potencia efectiva radiada suponiendo L=3 dB.

$$Per = Pt + G - L \ [dB]$$

Pero:

$$Pt = 5 \ [Kw] = 39 \ dBw$$

$$Per = 39 + 6 - 3$$

$$Per = 42 \ [dBw]$$

Por estar las curvas de propagación normalizadas para una potencia efectiva radiada de 1 Kw o 30 dBw, se debe restar este valor, del dado para la Potencia efectiva radiada en este ejemplo que es de 42 dBw, dando como resultado el valor 12 dB que es lo que hay que restar del valor de intensidad de campo de 74 dB(uv/m) para el cual se busca la distancia. Por lo tanto en la curva que determinan los parámetros, se deberá leer la distancia a la cual se tendrá un valor de 62 dB(uv/m).

Entonces, en la curva (2) de la figura 5.4.45 se lee una intensidad de campo de 62 dB(uv/m) a una distancia de 33 Km que es la distancia a la que se tendrá una intensidad de campo de 74 dB(uv/m) para un transmisor de Per=42 dBw.

----- o -----

c) Hallar la potencia necesaria para tener a una distancia dada, una intensidad de campo deseada.

Ejemplo:

Se desea conocer la potencia con que se deberá transmitir (Per) desde una altura h_1=950 m hacia un terreno con un Δh=950 m, para obtener una intensidad de campo de 68 dB(uv/m)=(2.5 mv/m) a una distancia de 30 Km, si la frecuencia de transmisión es f=193.25 MHz (portadora de video de canal 10_{TV}).

Solución:

De acuerdo a los parámetros establecidos para este ejemplo, se escoge la curva (2) de la figura 5.4.41, en la que se lee para 30 Km, una intensidad de campo de 55 dB(uv/m).

La intensidad de campo leída en la curva escogida, se la debe restar de la requerida, quedando:

$$68 \text{ dB(uv/m)} - 55 \text{ dB(uv/m)} = 13 \text{ dB}$$

Este valor calculado (13 dB), es lo que se suma a la

potencia de 30 dBw que es la potencia para la cual están normalizadas las curvas.

La Potencia efectiva radiada (Per) necesaria en este ejemplo sería:

$$Per = 30 + 13 \ [dB]$$

$$Per = 43 \ [dBw]$$

Valor que suponiendo: L=3 dB y ganancia de antena en esa dirección G=8 dB, nos daría una potencia de transmisión de:

$$Pt = Per - G + L \ [dB]$$

$$Pt = 43 - 8 + 3$$

$$Pt = 36 \ dBw$$

que pasando a vatios nos daría:

$$Pt_{[w]} = 10^{(36dB/10)} = 3981 \text{ vatios.}$$

****
****
****
****
******
****
**

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

1. *Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes*

Edward C. Jordan

Keit C. Balmain

Traducido y revisado por Joaquín Gómez Barquero

Madrid 1973

2. *Propagation of radio waves*

M. Dolukhanov

Translated from the revision by Boris Kuznetzov

Moscow 1971

3. *Apuntes de la materia Propagación de Ondas de Radio*
(Segunda Edición)

Dr. Kanti Hore

Escuela Politecnica Nacional

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Quito, noviembre 1980

4. *NAB, ENGINEERING HANDBOOK.*

The Measurement of FM and TV Field Strengths (54-890 MHz)

5. *Radiocomunicaciones en VHF y UHF*

Jiro Kokan

Centro Nacional de Capacitación en Telecomunicaciones IETEL

6. *Recomendaciones e Informes del CCIR, 1982*

XV Asamblea Plenaria

Ginebra, 1982

Volumen V

Propagación en medios no ionizados

UIT

7. *Seminario sobre la Planificación de Sistemas de Radio-difusión*

Parte I

UIT

Sao Paulo, Junio, 1973

8. *Determinación de las constantes de la tierra*

Tesis de Grado

Milton Roldán Reascos

Escuela Politecnica Nacional

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Quito, Mayo, 1981

9. *Interference Measurement*

Issued for the further education program of ROHDE&-SCHWARZ

Munich, 1975

Revised edition, 1981

10. *Texto de Radiocomunicaciones*

Tomio Takahashi

Quito, agosto, 1981

IETEL

11. *Introducción, Planificación, Espectro Radioeléctrico, Bandas de VHF-UHF y Microondas para los servicios Fijo y Móvil Terrestre*

J. Ramos

IETEL

12. *Intensidad Eléctrica de la Onda de Superficie*

Ministerio de Comunicaciones. Dirección de Telecomunicaciones. República de Venezuela.

Enero, 1973

13. *Federal Comunication: Commission*

FCC. Subpart E - Television Broadcast Stations

14. *Seminario sobre la Administración y Utilización del Espectro de Frecuencias Radioeléctricas*

Organizado por la Junta Internacional de Registro de Frecuencias (I.F.R.B.)

Propagación por encima de unos 30 MHz

UIT, octubre 1972