



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO DE UN RADIOENLACE TROPOSFERICO  
EN LA SONDA DE CAMPECHE**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
PRESENTAN  
MARIA YOLANDA MALANCO PORTAS  
ENRIQUE RODRIGUEZ ESCUDERO**

**BAJO LA DIRECCION DEL  
INGENIERO GUILLERMO MEDINA FLORES**

**Ciudad Universitaria, D. F.**

**1982**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE .

## CAPITULO I.

## COMUNICACION EN LA SONDA DE CAMPECHE

I.1	Antecedentes	2
I.2	Descripción de la zona	3
I.3	Puntos a comunicar	6
I.4	Facilidades existentes	7
I.5	Propuesta	9

## CAPITULO II.

## GENERALIDADES DE PROPAGACION

II.1	Comparación con la luz	14
II.2	Clasificación de las ondas electromagnéticas	17
II.3	Polarización	17
3.1	Polarización Lineal	19
3.2	Polarización Circular	20
3.3	Polarización Elíptica	21
II.4	Espacio Libre	23
4.1	Pérdidas de transmisión en el espacio libre	23
II.5	Reflexión	26
5.1	Angulo de reflexión	26
5.2	Coefficiente de reflexión	28
II.6	Refracción	35
II.7	Patrón de altura	38
II.8	Coefficiente de divergencia	40
II.9	Coefficiente de reflexión real	42
II.10	Propagación en tierra esférica	46

II.11	Zona de Fresnel	48
II.12	Curvatura de la tierra	54
II.13	Indice de refracción modificado	55
II.14	Curvas M	58
II.15	El factor K	61
II.16	Perfiles equivalentes de la tierra	66
II.17	Criterios sobre línea de vista	70
II.18	Desvanecimientos (causas que los originan)	72
18.1	Desvanecimientos provocados por la Atmósfera	72
	a) Desvanecimientos por absorción	
	b) Desvanecimiento por una breve y pequeña - variación en el índice de refracción	
	c) Desvanecimientos causados por un índice - de refracción anormal	
	d) Desvanecimientos por las turbulencias	
18.2	Desvanecimientos originados por la superficie terrestre	73
	a) Desvanecimientos originados por la superfi cie terrestre	
	b) Desvanecimientos por variación de trayecto rias	
18.3	Desvanecimientos provocados por la Atmósfera y la tierra	74
	a) Desvanecimientos a causa de la interferen cia tipo K	
	b) Desvanecimientos a causa de la interferen cia tipo M	
	c) Desvanecimientos por difracción tipo K	
	d) Desvanecimientos por difracción tipo M	
II.19	Características generales de los fenómenos - de los desvanecimientos de microondas en las trayectorias de propagación con visibilidad	76
II.20	Cálculo de la pérdida de transmisión	78
II.21	Cálculo de la distancia de la trayectoria de	



	propagación	78
21.1	Método de cálculo del ángulo AOB	79
21.2	Método de cálculo de la distancia entre A y B	81
II.22	Método para calcular el punto de reflexión	81
	a) En una superficie plana	
	b) En una superficie esférica	
22.1	Método para calcular el punto de reflexión - cuando éste se localiza al nivel del mar	82
II.23	Método para el cálculo del coeficiente de re- flexión equivalente y el de reflexión real	86
	a) Coeficiente de reflexión equivalente	
	b) Coeficiente de reflexión real	
II.24	Ruido	90
24.1	Ruido térmico	90
24.2	Ruidos de intermodulación	92
24.3	Ruidos de interferencia	93

### CAPITULO III.

#### TRANSMISION ATMOSFERICA

III.1	Sistema de línea de vista	96
1.1	Cálculo de la altura con la que se obtiene contacto visual	97
1.2	Cálculo del 60% del radio de la primera zo- na de Fresnel	99
III.2	Transmisión más allá del horizonte	103
2.1	Propagación por dispersión troposférica	103
2.2	Propagación por difracción en tierra esfé- rica	104
2.3	Propagación por dispersión en la Ionósfera	105

### CAPITULO IV.

#### CONDICIONES GENERALES DE PROPAGACION TROPOSFERICA

	Reseña histórica	107
--	------------------	-----

IV.1	Propiedades físicas de la Tropósfera	111
1.1	La Tropósfera	111
1.2	Atmósfera estándar	112
1.3	Capas turbulentas	119
1.4	Capas delgadas estables	122
1.5	Datos sobre la estructura fina de la Tropósfera	123
	a) Capas turbulentas	
	b) Capas delgadas estables	
1.6	Ruido atmosférico	125
IV.2	Características de la propagación troposférica	127
2.1	Pérdida de dispersión (scatter)	129
	a) Desvanecimiento rápido	
	b) Desvanecimiento lento	
2.2	Pérdida de acoplamiento de la antena al medio	130
IV.3	Teorías sobre propagación troposférica	131
3.1	Teoría de dispersión turbulenta	133
3.2	Teoría de dispersión en capas atmosféricas turbulentas	135
3.3	Teoría de las reflexiones en las capas atmosféricas	136
IV.4	Técnicas de diversidad en sistemas de dispersión troposférica	136
4.1	Sistemas de diversidad	138
	a) Diversidad de frecuencia	
	b) Diversidad de espacio	
	c) Diversidad angular	
IV.5	Técnicas de combinación	145
	a) Combinador selector	
	b) Combinador de igual ganancia	
	c) Combinador de relación máxima	

## CAPITULO V.

## DISEÑO DEL SISTEMA

1)	Preparación para el diseño del sistema (diagrama de flujo)	149
2)	Diseño del sistema (diagrama de flujo)	150
V.1	Determinación de los requerimientos básicos del sistema	152
a)	Calidad I	
b)	Calidad II	
c)	Confiabilidad en la propagación	
V.2	Cálculo del sistema	161
2.1	Pérdidas de transmisión	161
2.1.1	Cálculo de la potencia recibida $P_r$	161
2.1.2	Cálculo de las pérdidas totales del enlace $L_s$	162
2.1.3	Cálculo de las pérdidas básicas de transmisión $L_b$	162
a)	Frecuencia de operación $f$	163
b)	Cálculo de la distancia entre dos puntos $d$	164
c)	Cálculo de la distancia a los horizontes $d_{Lt, Lr}$	164
d)	Cálculo del radio terrestre efectivo $a$	166
e)	Cálculo de la refractividad atmosférica en la superficie $N_s$	166
f)	Cálculo de las alturas efectivas de antena $h_{te, re}$	168
g)	Cálculo del ángulo de dispersión $\theta$	171
h)	Cálculo de la función de atenuación $F(\theta d)$	174
i)	Cálculo de la función de ganancia $H_o$	174
j)	Cálculo de la corrección de la eficiencia de dispersión $F_o$	180
k)	Cálculo de la absorción $A_a$	182
l)	Cálculo de la distancia efectiva del enlace $d_e$	184
m)	Cálculo del factor de corrección por efectos del clima $V(d_e)$	185

2.1.4	Cálculo de las pérdidas en los alimentadores $L_a$	188
2.1.5	Cálculo de la ganancia antena-trayecto $G_p$	189
	a) Ganancia de antena $G$	
	b) Cálculo de las pérdidas de acoplamiento antena-medio $L_{gp}$	
2.1.6	Obtención de la gráfica de distribución de la potencia recibida $P_r$	196
2.1.7	Cálculo del margen de umbral MD	196
2.1.8	Cálculo de la profundidad de desvanecimiento	196
2.2	Cálculo de la relación señal a ruido	204
2.2.1	Cálculo de la relación señal a ruido término $S/N_T$	204
	a) Figura de ruido	
	b) Índice de modulación por canal $m$	
	c) Enfasis $E$	
	d) Mejora por diversidad $Y$	
2.2.2	Cálculo de la relación señal a ruido por intermodulación $S/N_I$	206
2.2.3	Ruido básico de equipo $N_B$	208
2.2.4	Cálculo del ruido total $N_{TOTAL}$	208
2.2.5	Cálculo de la relación señal a ruido para los distintos porcentajes de tiempo $S/N(\%)$	209
	a) Variabilidad para los distintos porcentajes de tiempo $Y(\%)$	
2.3	Ruido total en radioenlaces con multisecciones (en tandem)	214
2.3.1	Cálculo de la relación señal a ruido total del sistema $S/N_{SIST}$	214
<b>CONCLUSIONES</b>		220
<b>APENDICES</b>		222
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		b1.1

## INDICE DE FIGURAS.

## CAPITULO I.

Fig. I.1	Sistema de comunicaciones troposférico, Sonda de Campeche	10
----------	--	----

## CAPITULO II.

Fig. II.1	Trayectorias de Propagación	13
Fig. II.2	Polarización Lineal	20
Fig. II.3	Polarización Circular	21
Fig. II.4	Polarización Elíptica	22
Fig. II.5	Pérdida de transmisión en el espacio libre	25
Fig. II.6	Reflexión y Refracción	26
Fig. II.7	Coeficiente de Reflexión a) Reflexión en un dieléctrico perfec to. b) Reflexión en la tierra normal.	34
Fig. II.8	Refracción	36
Fig. II.9	Dedución de la Ley de Snell para su- perficies esféricas	37
Fig. II.10	Patrón de altura	39
Fig. II.11	Divergencia de la energía en una su- perficie esférica	41
Fig. II.12	Reflexión en la superficie del mar	44
Fig. II.13	Coeficientes de reflexión para varias condiciones reales	45
Fig. II.14	Geometría para tierra esférica	47
Fig. II.15	Zonas de Fresnel	49

Fig. II.16	Radio de la 1a. zona de Fresnel para $f=2000$ MHz.	52
Fig. II.17	Atenuación vs. trayectoria libre de obstáculos	53
Fig. II.18	Tendencias normales de M y N	57
Fig. II.19	Curvas M	60
Fig. II.20	Trayectoria de propagación de microondas	62
Fig. II.21	Radio equivalente terrestre	64
Fig. II.22	Valores de K y formas de trayectorias	67
Fig. II.23	Carta para perfiles ( $K = 4/3$ )	68
Fig. II.23bis	Caso en que interviene la pérdida de difracción $L_d$	69
Fig. II.24	Distancia entre dos puntos a) Distancia entre dos puntos b) Distancia con visibilidad	80
Fig. II.25	Reflexión en una superficie plana	81
Fig. II.26	Reflexión en una superficie esférica lisa	83
Fig. II.27	Posiciones de b	87
Fig. II.28	Superficie de reflexión	89
Fig. II.29	Vector de ruido térmico	90
Fig. II.30	Ruidos de interferencia	94

### CAPITULO III.

Fig. III.1	Cálculo de la altura de antena para línea de vista	102
------------	--	-----

## CAPITULO IV.

Fig. IV.1	Atmósfera estándar	114
Fig. IV.2	Atmósfera estratificada	121
Fig. IV.3	Geometría de un enlace troposférico	128
Fig. IV.4	Configuración de diversidad de frecuencia doble	142
Fig. IV.5	Configuración de diversidad de espacio doble	143
Fig. IV.6	Sistemas de diversidad	144
	1) Diversidad de frecuencia	
	2) Diversidad de espacio	
	3) Diversidad angular horizontal	
	4) Diversidad angular vertical	

## CAPITULO V.

Fig. V.1	Ruido permisible para la media horaria y el 20% del peor mes (CCIR-Rec. 393-1 y 395-1)	155
Fig. V.2	Porcentaje permisible para 47,500 pWp y 1'000,000 pW (CCIR-Rec. 393-1 y 395-1)	156
Fig. V.3	Porcentaje permisible para 63,000 pWp del peor mes (CCIR-Rec. 397-1)	157
Fig. V.4	Ruido permisible para el 20% del peor mes (CCIR- Rec. 397-2)	158
Fig. V.5	Porcentaje permisible para 1'000,000 pW (CCIR-Rec. 397-1)	159
Fig. V.6	Geometría de trayectoria	165
Fig. V.7	Altura efectiva para $h_t \geq 1$ Km.	170
Fig. V.8	Factores de corrección $\Delta\alpha_0, \Delta\beta_0$ para $N_s=301$	174

Fig. V.9	El coeficiente $C(N_s)$	175
Fig. V.10	La función de atenuación $F(\theta d)$	177
Fig. V.11	La función $F(\theta d)$ para $N_s=301$	178
Fig. V.12	Función de ganancia de frecuencia $H_o$	180
Fig. V.13	Función de ganancia de frecuencia $H_o$ para $\eta_s = 0$	182
Fig. V.14	Curvas de absorción	184
Fig. V.15	La función $V(d_e)$ para los tipos de clima indicados en las curvas	186
Fig. V.16	Gráfica usada para calcular $L_{gp}$	192
Fig. V.17	Gráfica usada en el método de M. Hirai	194
Fig. V.18	Pérdidas de acoplamiento antena-medio	195
Fig. V.19	Enfasis	199
Fig. V.20	Curvas compuestas de desvanecimiento sin diversidad	200
Fig. V.21	Curvas compuestas de desvanecimiento, diversidad dual	201
Fig. V.22	Curvas compuestas de desvanecimiento diversidad cuádruple	202
Fig. V.23	Curvas compuestas de desvanecimiento, diversidad óctuple	203
Fig. V.24	El factor $g(f)$	212
Fig. V.25	Curvas de $Y(q, d_e, 1000 \text{ MHz})$	213



## INDICE DE APENDICES.

## APENDICE 1.

## PERFILES TOPOGRAFICOS DEL SISTEMA.

Enlace Cd. Pemex - Cd. del Carmen	a1.2
Enlace Cd. del Carmen - Nohoch "A"	a1.3
Enlace Nohoch "A" - Cayo Arcas	a1.4

LISTADO DE RESULTADOS DEL PROGRAMA	a1.5
------------------------------------	------

## APENDICE 2.

## RECOMENDACIONES E INFORMES DEL C. C. I. R.

Recomendación 311	a2.2
Recomendación 368	a2.4
Recomendación 369-1	a2.5
Informe 232	a2.6
Informe 233-1	a2.7
Recomendación 302	a2.20
Recomendación 396-1	a2.21
Recomendación 388	a2.22
Recomendación 283-3	a2.23
Recomendación 397-3	a2.26
Recomendación 310-1	a2.27

## APENDICE 3.

## CARACTERISTICAS DE LAS REGIONES CLIMATICAS

1.- Clima Templado Continental	a3.2
2.- Clima Templado Marítimo (sobre tierra)	a3.2
3.- Clima Templado Marítimo (sobre mar)	a3.2
4.- Clima Subtropical Marítimo (sobre tierra)	a3.3
5.- Clima Desértico	a3.3
6.- Clima Ecuatorial	a3.3
7.- Clima Subtropical Continental	a3.3

## APENDICE 4.

## UNIDADES LOGARITMICAS.

db	a4.2
dbm	a4.2
dbw	a4.2
dba y dbrn	a4.3
dba0	a4.3
dbm0	a4.3
dbk	a4.3
dbv	a4.4
dbx	a4.4
vu	a4.4
dbRap	a4.4

C A P I T U L O I .

## I. COMUNICACION EN LA SONDA DE CAMPECHE:

### I.1. ANTECEDENTES.

En la actualidad la industria de mayor importancia en el país es la Petrolera, cuyos trabajos son realizados exclusivamente por Petróleos Mexicanos (PEMEX), empresa descentralizada cuyas funciones van desde la exploración, explotación, producción, hasta el transporte y venta de hidrocarburos y sus derivados.

De las provincias geológicas, tanto terrestres como marinas, en que está dividido el territorio nacional, la correspondiente a la Plataforma del Golfo de Campeche, es por el momento la de mayor importancia.

En 1972 se realizaron los primeros trabajos exploratorios en la Sonda de Campeche, región petrolera que se encuentra localizada frente a las costas de los estados de Tabasco, Campeche y Yucatán.

No fue, sino hasta el año de 1976 cuando con la perforación del pozo Chac-1, el cual resultó productor de aceite, que se confirmaron las posibilidades petrolíferas del área. Con tal éxito, se continuaron los trabajos exploratorios en los años de 1977 y 1978, permitiéndose, de esta forma, definir una extensión real de 8,000 kilómetros cuadrados. Con estos estudios se definieron las estructuras de Baacab, Akal, Nohoch, Abkatún, Ku, Maloob e Ixtoc, co--

responiendo todos los pozos perforados a las formaciones del Paleoceno, Cretácico y Jurásico.

Los trabajos exploratorios llevados a cabo durante el año de 1980, permitieron delinear la presencia de alrededor de 50 estructuras, por lo que se ha considerado a la Sonda de Campeche potencialmente superior a los yacimientos encontrados en tierra en el área comprendida en los estados de Tabasco y Chiapas (Área Mesozoica), además de encontrarse entre las áreas marinas productoras de hidrocarburos más grandes del mundo.

Actualmente se encuentran en explotación los campos marinos de Akal y Nohoch los cuales constituyen el Complejo Cantarel, y han sido probadas como productoras nueve estructuras adicionales, que son: Chac, Baacab, Abkatún, Maloob, Ku, Ixtoc, Pol, Kutz e Ich.

La producción de crudo de los pozos que se encuentran perforados en esta zona petrolera, es al 18 de Septiembre de 1981 de 1'554,000 barriles por día, con 42 pozos en producción. Esto último equivale a un promedio de 37,000 barriles diarios por pozo, lo cual constituye el porcentaje más alto de los campos productores de petróleo del mundo.

## **1.2. DESCRIPCION DE LA ZONA.**

En la Sonda de Campeche hay instaladas un total de 50 plataformas marinas, distribuidas de la siguiente manera:

- 29 Plataformas de perforación instaladas, de las cuales 16 cuentan con equipo de perforación.
- 10 Plataformas de Producción de crudo para manejar 1'554,000 barriles por día de aceite y - 20 millones de metros cúbicos diarios de gas.
- 3 Plataformas de Compresión, para comprimir 840 millones de pies cúbicos diarios de gas.
- 4 Plataformas de Enlace para la interconexión - ductos.
- 1 Plataforma de Rebombeo, para 1.2 millones de barriles por día de crudo.
- 3 Plataformas Habitacionales, para albergar 500 trabajadores, aproximadamente.

Otro tipo de instalaciones son los Oleogasoductos, - los cuales interconectan a las plataformas de Perforación con las plataformas de Enlace, donde los ductos se juntan en un cabezal de distribución. De las plataformas de Enlace los fluidos se transportan hacia la plataforma de Producción, donde después del proceso de separación, el aceite deshidratado es bombeado hacia la Terminal Marítima de "Dos Bocas", Tabasco, en tierra firme a través de dos Oleoductos submarinos de 36" de diámetro los cuales son paralelos, y de aproximadamente de 162 kilómetros de longitud, - uno de ellos, el primero que entró en operación va de Akal "C" a Dos Bocas, y el segundo se inicia en Akal "J".

El gas, una vez que se separa del aceite, se comprime y deshidrata antes de enviarse por un Gasoducto de 36" de diámetro, que va desde la plataforma Nohoch "A" hacia el Puerto de Nuevo Progreso ATASTA, donde posteriormente es enviado a la Petroquímica de Cd. Pemex, Tabasco.

Dado que la producción de la zona rebasó todas las estimaciones, se construyó un Oleoducto de Akal "J" a Cayo Arcas, lugar en donde se acondicionó un barco, denominado "Cautivo", el cual cuenta con instalaciones capaces de manejar un volumen de 300 mil barriles por día, y con un almacenamiento de un millón de barriles, por medio del cual se lleva a cabo la venta de hidrocarburos al extranjero.

Asímismo, el suministro de agua dulce para uso en las plataformas que se encuentran instaladas, se construyó un ducto de 10" de diámetro entre Isla Aguada, Camp. y la Plataforma Cantarel-267.

Se tiene proyectado a futuro la instalación de los ductos a continuación se indican:

Nohoch "A" - Dos Bocas . . .	oleoducto
Abkatún-212 - Dos Bocas . . .	oleoducto
Akal "J" - Cayo Arcas . . .	oleoducto
Nohoch "A" - Nuevo Progreso .	gasoducto de 24" Ø

así como el acondicionamiento de otro barco ("Venture Europe"), similar al "Cautivo", en Cayo Arcas.

### I.3. PUNTOS A COMUNICAR.

De acuerdo con lo mencionado en los incisos anteriores, los sitios a comunicar son las instalaciones de plataformas marinas con las que se encuentran en tierra firme, esto es, enlazar el Complejo de Plataformas, o mejor dicho, la plataforma cuya localización sea tal, que se encuentre localizada en el centro del campo con el punto más cercano en tierra a ésta. Además, tomando en cuenta lo anterior, enlazar también a Cayo Arcas.

Todo lo anterior se refiere a la primera etapa de -- construcción de instalaciones contemplada por Petróleos Mexicanos. Dentro de la siguiente etapa, se incluirán las plataformas que se localizarán al norte de Cayo Arcas, así como el Centro Administrativo de Campeche, Camp.

Todas las instalaciones que se han construido y que se construirán, deberán a su vez estar enlazadas con los Centros Administrativos de México, Coatzacoalcos y Cd. del Carmen, principalmente, y con instalaciones tales como Dos Bocas, Nuevo Progreso ATASTA y la Central de Almacenamiento y Bombeo de Cárdenas, entre otras.

En el inciso correspondiente a la Propuesta del Sistema, motivo de este trabajo, se hace una descripción más detallada de los puntos a comunicar.

Cabe aclarar, que una vez enlazados los citados puntos con los sitios indicados, éstos quedarán integrados a **la Red Privada con que cuenta Petróleos Mexicanos.**





canales: Cd. Pemex - Cd. del Carmen,  
con repetidor en Palizada.

Monocanales: Cd. del Carmen - Nuevo Pro-  
greso ATASTA.

En Cd. Pemex y Villahermosa estos enlaces se conectan al sistema de Microondas privado de la Institución (Cd. Pemex - México - Salamanca).

#### CONMUTADORES.-

a).- Instalaciones en el Mar:

Se encuentra instalado actualmente, y en forma -- provisional, una central telefónica de 25 extensiones, 4 circuitos de cordón y 5 transladores urbanos en la Plataforma Akal "C". Con esta central se proporciona servicio a los siguientes puntos:

- Plataforma Akal "C"
- Plataforma Akal "J"
- Plataforma Nohoch "A"
- Barco "Cautivo"

#### SERVICIO TELEX Y FACSIMIL.-

Este tipo de servicio solo existe en Cd. del Carmen - hasta el momento.

#### SERVICIOS DIVERSOS.-

Opera un sistema Busca - personas constituido por una estación transmisora base instalada en la Plataforma Akal "C" y equipos radiolocalizadores portátiles, cuya única --

función es recibir el mensaje enviado desde la estación base. También operan en esta zona equipos transceptores portátiles en la banda marina de VHF.

Asimismo, se tienen en operación transceptores en Banda Lateral Unica (BLU) en la banda marina de HF.

### I.5. PROPUESTA.

Esta propuesta contempla el sistema de comunicaciones que enlazará las instalaciones marinas con las instalaciones en tierra. Referirse a la Figura I.1.

La implementación de estos enlaces incluye las siguientes localizaciones:

- 1.- Cd. Pemex - Cd. del Carmen: para integrar las instalaciones que constituyen la Sonda de Campeche con la red privada de Petróleos Mexicanos, por medio del sistema de Microondas Cd. Pemex - México - Salamanca.
- 2.- Cd. del Carmen - Plataforma Nohoch "A": para enlazar el campo de plataformas con las instalaciones en tierra. Los enlaces entre plataformas y la Plataforma - Nohoch "A" son del tipo de línea de vista.
- 3.- Plataforma Nohoch "A" - Cayo Arcas: para enlazar Cayo Arcas, y a su vez al Barco Cautivo, con el Campo de Plataformas y las instalaciones en tierra.

CAYO ARCAS:  
LAT. N 20° 12' 25"  
LONG.O 91° 58' 05"

NONOCH "A":  
LAT. N 19° 22' 06"  
LONG.O 92° 00' 13"

Ciudad del Carmen:  
LAT. N 18° 38' 22"  
LONG.O 91° 50' 16"

Ciudad Pemex:  
LAT. N 17° 52' 53"  
LONG.O 92° 28' 54"

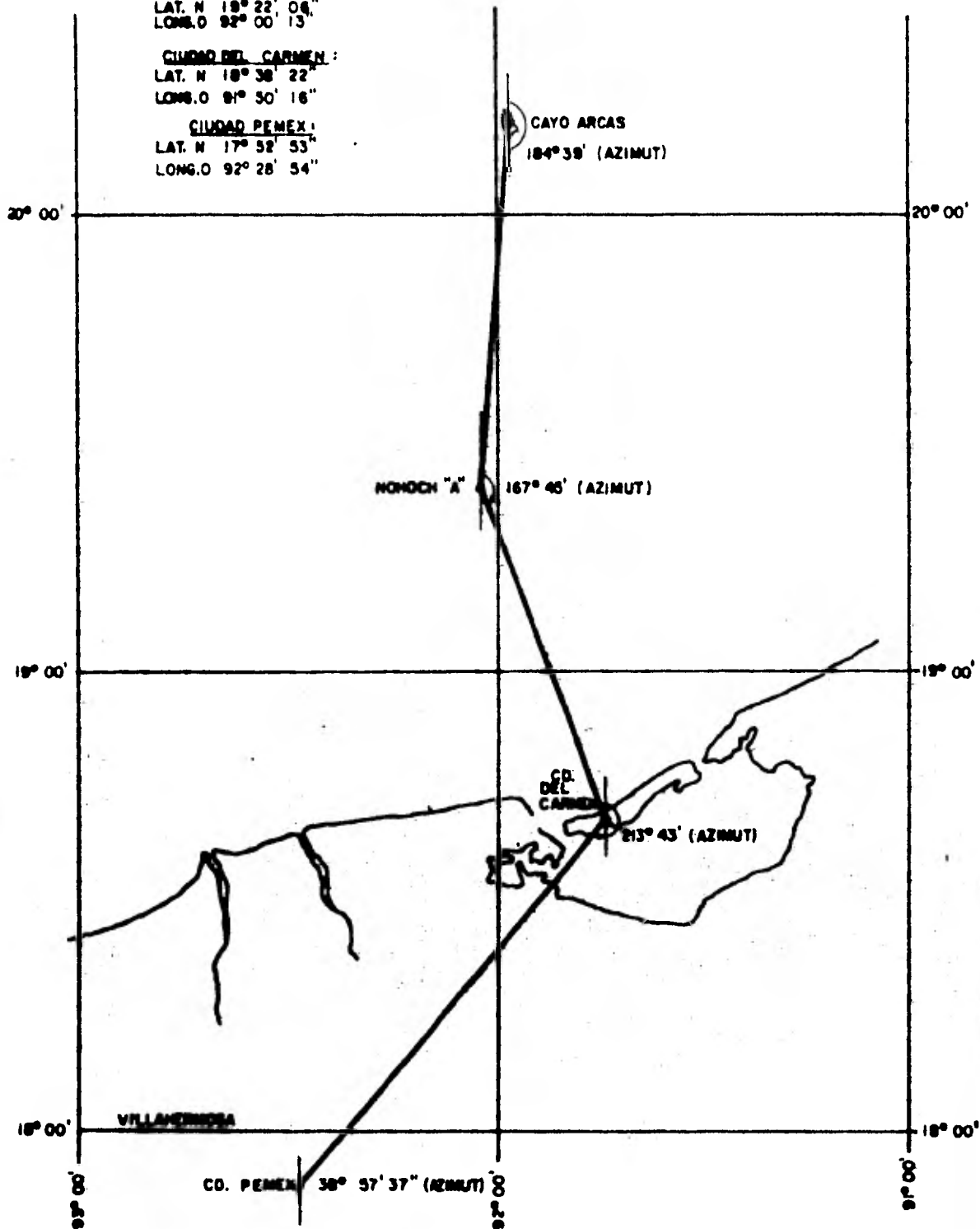


FIG. I.1.- SISTEMA DE COMUNICACIONES TROPOSFERICO, SONDA DE CAMPECHE .

C A P I T U L O   I I .

## II.- GENERALIDADES DE PROPAGACION.

Actualmente vivimos rodeados de energía electromagnética, cuyas ondas van desde las mas largas longitudes de onda, como las de radiocomunicación hasta las pequeñas como es el caso de los rayos infrarrojos, rayos X, rayos Gamma y rayos cósmicos.

El tipo de radiación electromagnética que nos interesa, es aquella que se produce en dispositivos inventados por el hombre, y luego es enviada al espacio en forma codificada, y para detectarla se usa otro dispositivo similar, el cual convierte las ondas electromagnéticas radiadas en señales inteligibles.

La energía radiada por el transmisor puede llegar al receptor por muchas trayectorias posibles, algunas de las cuales se muestran en la Fig. II.1.

Las ondas que llegan al receptor despues de reflejarse o dispersarse en la Ionósfera son conocidas como ONDAS REFLEJADAS Y DISPERSAS IONOSFERICAMENTE, a las cuales tambien se les llama ONDAS DE CIELO. A las ondas que son reflejadas o dispersas en la Tropósfera se les denomina ONDAS TROPOSFERICAS. A la energía que se propaga sobre trayectorias cercanas a la superficie terrestre se les denomina ONDA DE TIERRA, a ésta última es conveniente dividirla en la siguiente clasificación:

- 1.- Onda de Espacio.
- 2.- Onda de Superficie.

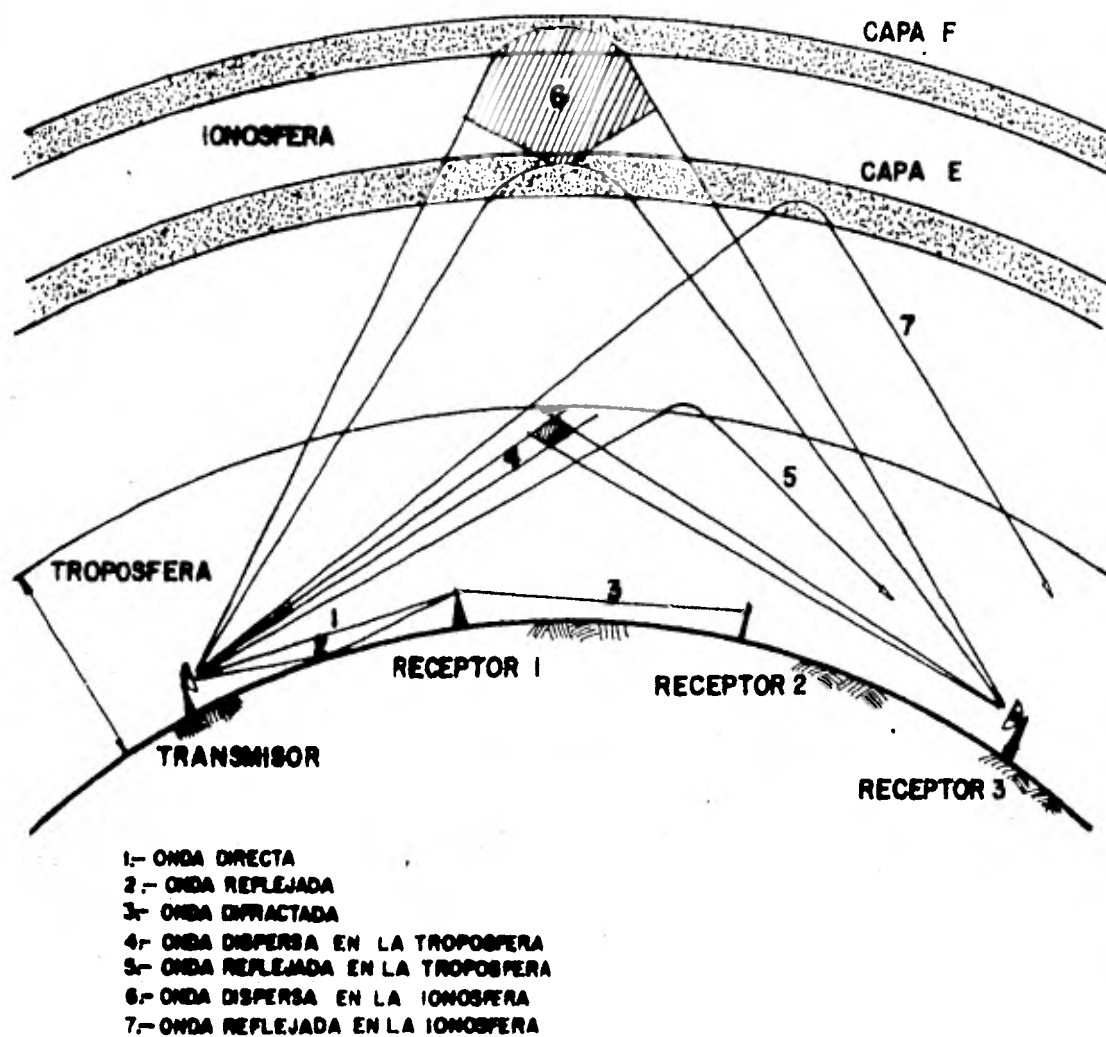


FIG.- II.1.- TRAYECTORIAS DE PROPAGACION

a su vez, la Onda de Espacio podemos dividirla en:

- a). Onda Directa: es la que se propaga en una -  
trayectoria recta desde el --  
transmisor al receptor.
- b). Onda Reflejada: es la que llega al receptor  
despues de reflejarse en la  
superficie terrestre.

La Onda de Espacio tambien incluye la porción de ener-  
gía recibida por difracción en la superficie terrestre y re-  
fracción en la Atmósfera.

La Onda de Superficie es aquella que se propaga a lo -  
largo de la superficie terrestre en la misma forma que una  
onda es guiada por una línea de transmisión. Esta trayecto-  
ria sufre muchas atenuaciones.

En la Tabla II.1 podemos resumir lo anteriormente ex--  
puesto.

## II.1 COMPARACION CON LA LUZ.

Un haz de microondas y un haz de luz son similares en  
el hecho de que ambos consisten de energía electromagnéti--  
ca. La diferencia se debe únicamente a la frecuencia y al  
medio de emisión y recepción.



- (1) ONDA DIRECTA  
Utilizada en sistemas de línea de Vista en comunicaciones por SHF.
- (2) ONDA REFLEJADA EN LA TIERRA  
Utilizada ocasionalmente en SHF, causa interferencias por trayectorias múltiples.
- (3) ONDA DIFRACTADA EN LA TIERRA  
Utilizada en algunos sistemas de VHF.
- (4) ONDA DE SUPERFICIE  
Provoca interferencias por sobrealcances en sistemas de línea de Vista.
- (5) ONDAS DE REFLEXION Y REFRACCION EN LA TROPOSFERA  
Utilizada en sistemas troposféricos de UHF y SHF.
- (6) ONDAS DISPERSAS EN LA TROPOSFERA  
Utilizada en sistemas troposféricos de UHF y SHF.
- (7) ONDAS DE REFLEXION Y REFRACCION EN LA IONOSFERA  
Utilizada en sistemas de comunicación de gran distancia por LF, HF y MF.
- (8) ONDAS DISPERSAS EN LA IONOSFERA  
Utilizada en sistemas de enormes distancias por LF y MF.

TABLA II.1  
 CLASIFICACION DE LAS ONDAS DE RADIO POR SU TRAYECTORIA.

<u>BANDA</u>	<u>FRECUENCIA</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>CARACTERISTICAS DE PROPAGACION</u>	<u>USOS TIPICOS</u>
VLF	10 a 30 KHz	Mayor que 10 000 m.	Baja atenuación a cualquier hora del día y del año. Características muy confiables.	Comunicación a grandes distancias.
LF	30 a 300 KHz	10 000 a 1 000 m.	Propagación durante la noche similar a VLF, pero ligeramente menos confiable; mayor atenuación durante el día que en VLF.	Comunicación a grandes distancias, navegación marina.
MF	300 a 3000 KHz	1000 a 100 m.	Baja atenuación durante la noche y alta durante el día.	Radio emisión comercial, navegación marina y aérea.
HF	3 a 30 MHz	100 a 10 m.	Transmisión a larga distancia la cual depende solo de la Ionósfera, y varía ampliamente con las condiciones atmosféricas y con la frecuencia.	Comunicación a distancias medias y grandes
VHF	30 a 300 MHz	10 a 1 m.	Propagación prácticamente en línea recta semejante a las ondas de luz; no le afecta la Ionósfera.	Comunicación a distancias cortas, TV, FM, Radar y navegación
UHF	300 a 3000 MHz	100 a 10 cm.	Propagación casi en línea recta semejante a las ondas de luz; no le afecta la Ionósfera.	Comunicación a distancias cortas, Radar, TV, etc
SHF	3 a 30 GHz	100 a 10 mm.	Propagación en línea recta semejante a las ondas de luz; no le afecta la Ionósfera.	Radar, Navegación radio, etc.

TABLA II.2. CLASIFICACION DE LAS ONDAS DE RADIO POR SU FRECUENCIA.

Como la luz es visible, es fácil observar su comportamiento y por tanto la mayoría de las características de las microondas pueden demostrarse visualmente con un rayo de luz en un espacio muy reducido. Por consiguiente, es posible aplicar a las microondas las leyes bien conocidas de la óptica.

## II.2. CLASIFICACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS.

No existe un límite de frecuencia exacta para definir cuando se trata de microondas, ya que generalmente se usa un vocablo para indicar las ondas cuya frecuencia involucra longitudes de onda mas pequeñas que las de la banda de VHF, por ésto, en ocasiones se usa el término microondas para referirse en forma genérica a las ondas de las bandas de UHF, SHF y EHF, o bien para indicar que se trata de ondas cuya longitud de onda es mas pequeña que las de VHF.

La Tabla II.2 muestra la clasificación de las ondas de radio, características de propagación y usos típicos.

Frecuentemente se hace referencia a frecuencias mayores que 2 GHz como frecuencias de microondas.

## II.3. POLARIZACION.

Se conoce como Polarización de una onda electromagnética a la variación del campo eléctrico respecto al tiempo.

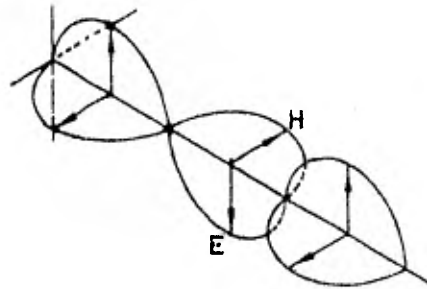
Supongamos una onda plana uniforme que se propaga en la

dirección de  $z$ , cuyos campos eléctrico  $E$  y magnético  $H$  representados por vectores en el plano  $x$ - $y$ . Si la componente vertical del campo eléctrico es igual a cero ( $E_y=0$ ), y únicamente está presente la componente horizontal en  $x$ ,  $E_x$ ; se dice en este caso que la onda está polarizada en la dirección de  $x$ ; un juicio similar se sigue para la polarización en la dirección de  $y$ . Si ambas componentes del campo eléctrico  $E_x$  y  $E_y$ , tienen un valor determinado, y además se encuentran en fase, entonces el campo eléctrico resultante tiene una dirección que depende de la magnitud relativa de las componentes en  $x$  y  $y$ , es decir, de  $E_x$  y  $E_y$ . El ángulo que esta dirección forma con el eje  $x$  es:

$$\tan^{-1} \frac{E_y}{E_x}$$

dicho ángulo será constante con respecto al tiempo. En todos los casos en que la dirección del vector resultante es constante con el tiempo, se dice que la onda está polarizada linealmente.

Ahora, cuando las componentes del campo eléctrico  $E_x$  y  $E_y$  no se encuentran en fase, es decir, si los vectores alcanzan su máximo valor en tiempos diferentes, entonces la dirección del vector resultante del campo eléctrico variará con el tiempo. En este caso el extremo del vector resultante describirá una elipse y se dice que la onda tiene polarización elíptica



En caso de que ambas componentes del campo eléctrico  $E_x$  y  $E_y$  tengan igual magnitud y un defasamiento de  $90^\circ$  entre sí, entonces, el extremo del vector resultante del campo eléctrico  $E$ , describirá un círculo al girar y por tanto, se dice que la onda está polarizada circularmente.

### II.3.1. POLARIZACION LINEAL.

El campo eléctrico de una onda plana uniforme que se propaga en la dirección de  $z$ , puede expresarse en forma fasorial como sigue:

$$\tilde{E}(z,t) = R_e \{E_0 e^{-j\beta z} e^{j\omega t}\} \quad \text{II. ( 1)}$$

Como el campo eléctrico se propaga en la dirección de  $Z$ , el vector  $E$  se localiza en el plano  $x$ - $y$ .

$E_0$  es un vector cuyos componentes son números complejos, en otras palabras,  $E_0$  es un vector complejo, por tanto, puede expresarse de la siguiente manera:

$$E_0 = E_r + jE_i \quad \text{II. ( 2)}$$

En donde:  $E_r$  y  $E_i$  son vectores reales que tienen direcciones diferentes.

Supongamos un punto cualquiera en el espacio ( $z=0$ ), donde el campo eléctrico resultante está expresado por la relación:

$$\begin{aligned} \tilde{E}(0,t) &= R_e \{(E_r + jE_i) e^{j\omega t}\} \\ &= E_r \cos \omega t - E_i \sin \omega t \quad \text{II. ( 3)} \end{aligned}$$

Es claro que el vector del campo eléctrico  $\tilde{E}$  no solo -----

cambia su magnitud sino también su dirección al variar con el tiempo, ver figura No. II.2.

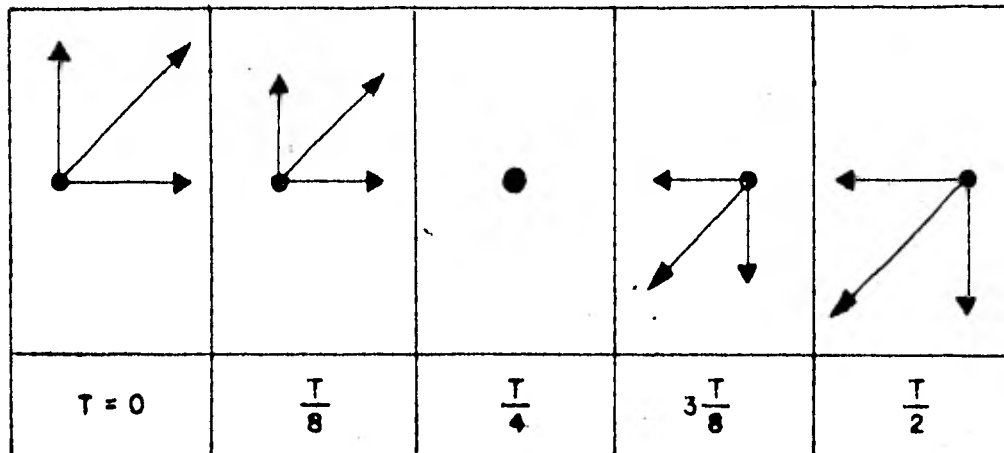


FIG. II.2. POLARIZACION LINEAL

### II.3.2 POLARIZACION CIRCULAR.

Ahora consideremos el caso en que ambos componentes  $E_x$  y  $E_y$  del Campo Eléctrico son iguales en magnitud pero con un defasamiento de  $90^\circ$ , cuando  $z = 0$  y con una amplitud común  $E_a$ , se obtiene la siguiente expresión:

$$E_0 = (\hat{x} + j\hat{y}) E_a \quad \text{II. ( 4 )}$$

$$\tilde{E}(0,t) = (\hat{x} \cos \omega t - \hat{y} \sin \omega t) E_a \quad \text{II. ( 5 )}$$

en donde:

$$\tilde{E}_x = E_a \cos \omega t \quad \text{II. ( 6 )}$$

$$\tilde{E}_y = -E_a \sin \omega t \quad \text{II. ( 7 )}$$

expresiones que satisfacen la relación siguiente:

$$\tilde{E}_x^2 + \tilde{E}_y^2 = E_a^2 \quad \text{II. ( 8 )}$$

lo cual indica que el extremo del vector resultante del campo eléctrico  $\tilde{E}(0,t)$  describirá un círculo de radio  $E_a$

al trasladarse en el tiempo.

El sentido de rotación se determina con la regla de la mano izquierda, por lo cual se dice que la onda está polarizada circularmente por la izquierda; similarmente, para la polarización circular derecha, el factor complejo es:

$$E_0 = (\hat{x} - jy) E_a \quad \text{II. (9)}$$

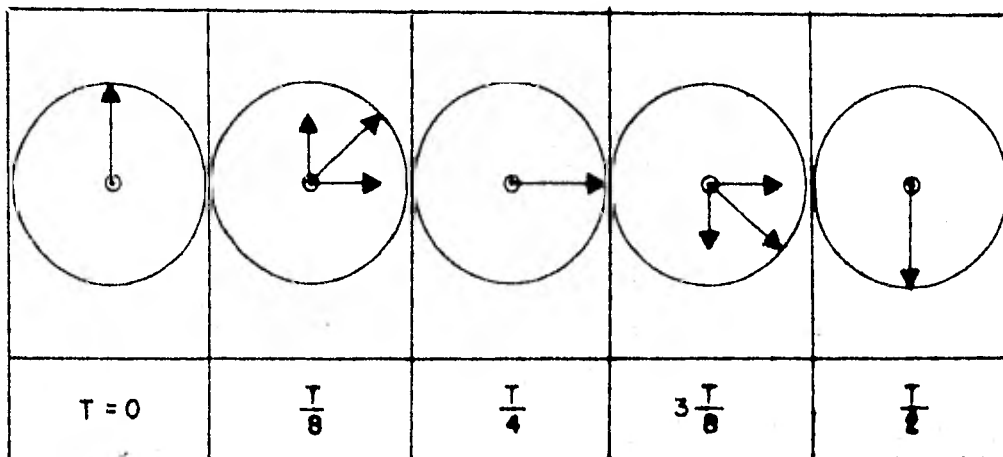


FIGURA II,3 Polarización Circular

### II.3.3 POLARIZACION ELIPTICA

Un ejemplo más general puede verse cuando las componentes  $E_x$  y  $E_y$  del campo eléctrico tienen magnitudes diferentes, y además, forman un ángulo de  $90^\circ$  entre sí, es decir, están defasadas  $90^\circ$ , dicho campo puede representarse matemáticamente por:

$$E_0 = \hat{x}A + jyB \quad \text{II. (10)}$$

donde: A y B son constantes reales positivas.

La expresión correspondiente para el campo variante con el tiempo en  $z = 0$ , es la siguiente:

$$\tilde{E}(0,t) = \hat{x} A \cos \omega t - \hat{y} B \sin \omega t \quad \text{II. (11)}$$

donde:  $\tilde{E}_x = A \cos \omega t \quad \text{II. (12)}$

$$\tilde{E}_y = -B \sin \omega t \quad \text{II. (13)}$$

de donde resulta evidente que:

$$\frac{\tilde{E}_x^2}{A^2} + \frac{\tilde{E}_y^2}{B^2} = 1 \quad \text{II. (14)}$$

Como puede observarse, el extremo del vector del campo eléctrico,  $E(0,t)$ , trazará una elipse, además, el sentido de rotación puede determinarse con la regla de la mano izquierda.

La polarización elíptica es de hecho, la forma más general de polarización de las ondas electromagnéticas.

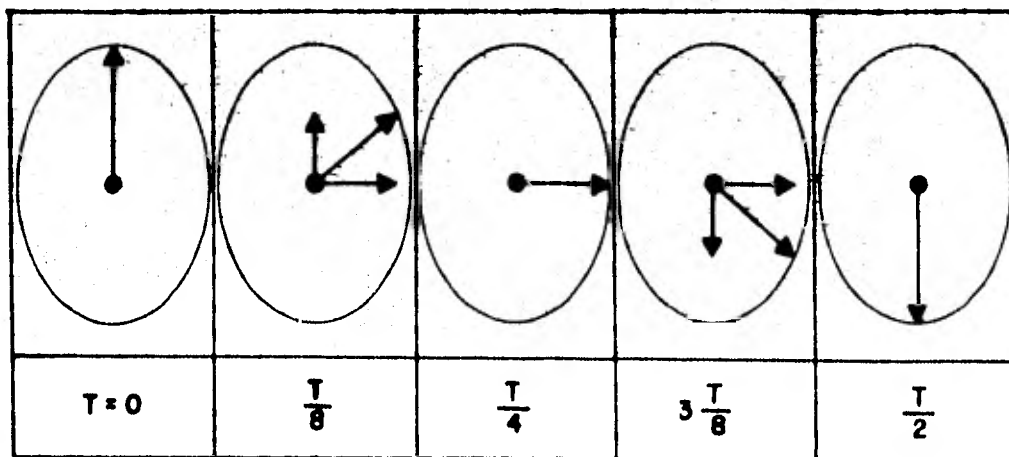


FIG. II.4. POLARIZACION ELIPTICA



## II.4. ESPACIO LIBRE.

La mayor parte del radioenlace de microondas se lleva a cabo en el espacio, por tanto, es necesario estudiar y conocer bien el espacio.

El espacio libre se define como aquel en el cual la influencia de la Atmósfera y de la Tierra es mínima, es decir, casi no hay refracción, difracción, absorción, etc. Además se considera que los radiadores son antenas isotrópicas, es decir, que radian energía uniformemente en todas direcciones. Aunque estos tipos de antena son físicamente irrealizables, proporcionan un conveniente punto de referencia para los cálculos.

### II.4.1. PERDIDAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESPACIO LIBRE.

Si consideramos una trayectoria determinada entre dos antenas isotrópicas, la pérdida que se obtiene entre estas dos antenas se conoce como pérdida de transmisión en el espacio libre, la cual se incrementa con la distancia y con la frecuencia. Dichas pérdidas pueden obtenerse fácilmente como se verá a continuación.

Para una Potencia  $W_t$  radiada desde una antena isotrópica, la densidad de potencia a una distancia  $d$  es igual a  $\frac{W_t}{4\pi d^2}$ . Si la antena transmisora tiene una ganancia  $g_1$  en la dirección deseada, la densidad de potencia se incrementa a  $g_1 W_t / (4\pi d^2)$ . El área efectiva de la antena receptora es  $A = \lambda^2 g_2 / (4\pi)$ , de tal manera que la potencia recibida será expresada de la siguiente manera:

$$W_R = \frac{g_1 W_t}{4\pi d^2} \times \frac{\lambda^2 g_2}{4\pi} = \frac{\lambda^2 g_1 g_2}{(4\pi d)^2} \times W_t \quad \text{II. (15)}$$

$$\frac{W_R}{W_T} = \frac{\lambda^2 g_1 g_2}{(4\pi d)^2} \quad \text{II. (16)}$$

La pérdida en el espacio libre se define como el recíproco de la expresión (16), expresado en dB, para una transmisión entre antenas isotrópicas ( $g_1 = g_2 = 1$ ), esto es:

$$L_S = 10 \log_{10} \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}$$

$$L_S = 20 \{ \log_{10} (4\pi) + \log_{10} d - \log_{10} c + \log_{10} f \} \quad \text{II. (17)}$$

$$L_S = 32.4 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f \quad \text{II. (18)}$$

donde:

d: distancia del enlace (Km)

f: frecuencia (MHz)

c: velocidad de la luz = 300,000 Km/seg

La pérdida de transmisión real será menor que  $L_S$  debido a las ganancias de las antenas  $G_1$  y  $G_2$  expresadas en dB, cuya expresión es:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad \text{II. (19)}$$

donde:

A: área de la antena

$\lambda$ : longitud de onda

G: ganancia de la antena

y la expresión para las pérdidas reales de transmisión es - la siguiente:

$$L = L_S - G_1 - G_2 \quad \text{(dB)} \quad \text{II. (20)}$$

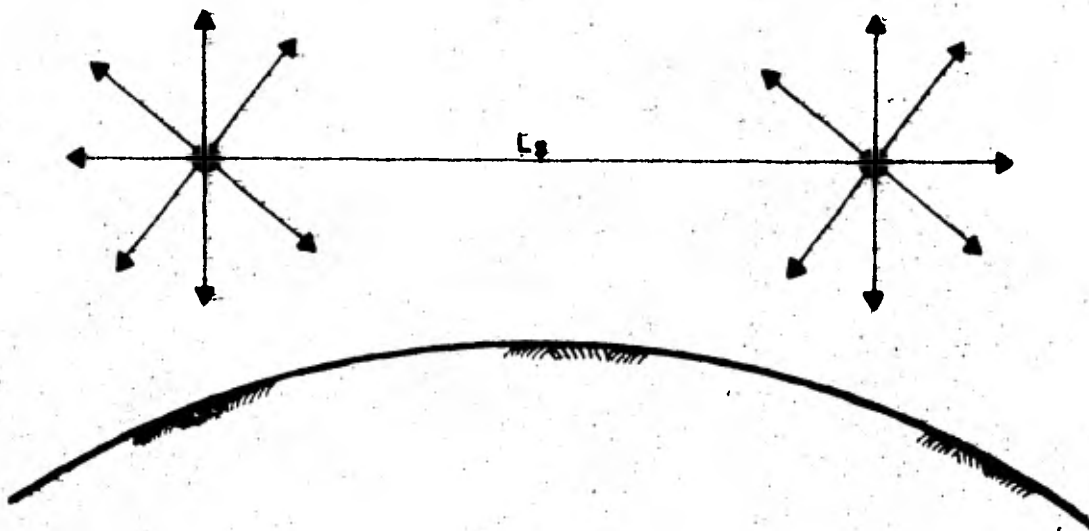


FIG. II.5. PERDIDA DE TRANSMISION EN EL  
ESPACIO LIBRE.

## II.5 REFLEXION

Cuando un haz de microondas pasa de un medio con constante dieléctrica  $\epsilon_1$  a otro medio con valor diferente de constante dieléctrica  $\epsilon_2$ , se presentan dos fenómenos bien conocidos en óptica: REFLEXION Y REFRACCION, es decir, una parte del haz se refleja y la otra se trasmite con una ligera desviación.

Similarmente a los fenómenos de óptica, la ley de Snell es aplicable a las microondas.

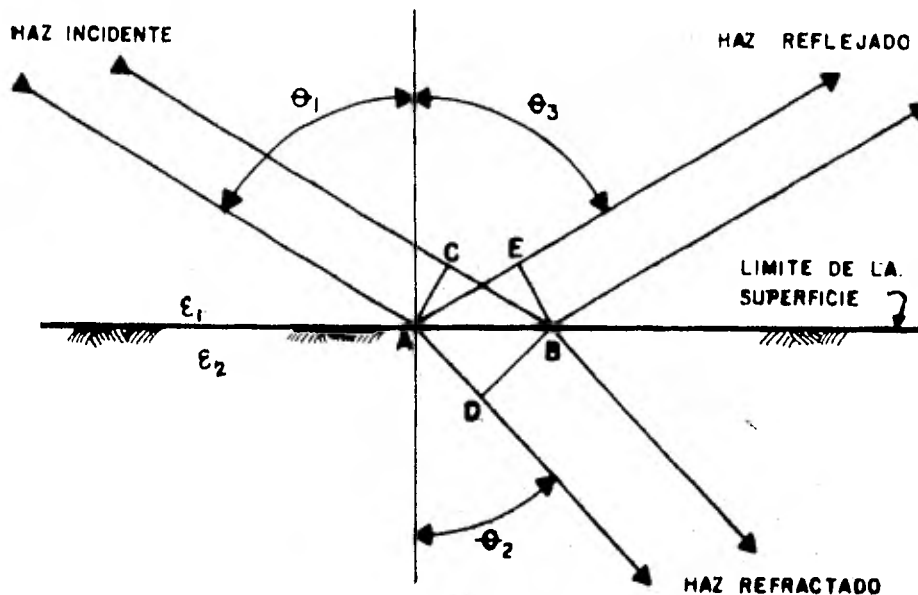


FIG. II.6. REFLEXION Y REFRACCION

### II.5.1 ANGULO DE REFLEXION

Para determinar el ángulo de reflexión nos referiremos a la figura II.6.

El haz incidente recorre la distancia CB con una velocidad  $V_1$  y la distancia AD la recorre con velocidad  $V_2$  esto lo podemos expresar de la siguiente manera:

$$\frac{CB}{AD} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{II. (21)}$$

de la Fig. II.6, tenemos:

$$CB = AB \operatorname{sen}\theta_1 \quad \text{II. (22)}$$

y

$$AD = AB \operatorname{sen}\theta_2 \quad \text{II. (23)}$$

sustituyendo (22) y (23), obtenemos:

$$\frac{\operatorname{sen}\theta_1}{\operatorname{sen}\theta_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{II. (24)}$$

expresando esta relación en términos de las constantes del medio, obtenemos:

$$V_1 = \frac{1}{\sqrt{\mu_1 \epsilon_1}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_v \epsilon_1}} \quad \text{II. (25)}$$

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{\mu_2 \epsilon_2}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_v \epsilon_2}} \quad \text{II. (26)}$$

por tanto:

$$\frac{\operatorname{sen}\theta_1}{\operatorname{sen}\theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \quad \text{II. (27)}$$

en la figura puede verse que  $AE = CB$  y que:

$$AE = AB \operatorname{sen}\theta_3 \quad \text{II. (28)}$$

$$CB = AB \operatorname{sen}\theta_1 \quad \text{II. (29)}$$

igualando las expresiones anteriores obtenemos que:

$$\operatorname{sen}\theta_1 = \operatorname{sen}\theta_3 \quad \text{o sea que} \quad \theta_1 = \theta_3$$

Es decir, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, lo cual representa la Ley de Snell.

## II.5.2. COEFICIENTE DE REFLEXION.

Para el caso en que el vector del campo eléctrico  $E$  es paralelo al plano de incidencia, es decir, la onda tiene polarización vertical, aplicamos las condiciones del vector - eléctrico:

$$(E_i - E_r) \cos\theta_1 = E_t \cos\theta_2 \quad \text{II.(30)}$$

simplificando:

$$\frac{E_t}{E_r} = \left( 1 - \frac{E_r}{E_i} \right) \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \quad \text{II.(31)}$$

antes de continuar es necesario, primero, revisar el concepto de la conservación de la energía.

$$\bar{E} \times \bar{H} = \frac{E^2}{\eta} - \text{densidad de energía} = \frac{\text{Potencia transmitida}}{m^2}$$

$$\text{la energía incidente} = \frac{E_i^2 \cos\theta_1}{\eta_1} \quad \text{II.(32)}$$

$$\text{la energía reflejada} = \frac{E_r^2 \cos\theta_1}{\eta_1} \quad \text{II.(33)}$$

$$\text{la energía refractada} = \frac{E_t^2 \cos\theta_2}{\eta_2} \quad \text{II.(34)}$$

donde:

$$\frac{E}{m^2} = \text{energía total por metro cuadrado}$$

$$\eta = \text{impedancia intrínseca del medio}$$

$$E_i = \text{campo eléctrico incidente total}$$

- $E_r$  = campo eléctrico reflejado total  
 $\theta_1$  = ángulo de incidencia  
 $\theta_2$  = ángulo de refracción  
 $\eta_1$  = impedancia intrínseca del medio 1  
 $\eta_2$  = impedancia intrínseca del medio 2

Por la conservación de la energía tenemos:

$$\frac{1}{\eta} E_i \cos\theta_1 = \frac{1}{\eta_1} E_r^2 \cos\theta_1 + \frac{1}{\eta_2} E_t^2 \cos\theta_2$$

simplificando nos queda:

$$\frac{E_r^2}{E_i^2} = 1 - \frac{\eta_1 E_t^2 \cos\theta_2}{\eta_2 E_i^2 \cos\theta_1}$$

$$\frac{E_r^2}{E_i^2} = 1 - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \times \frac{E_t^2}{E_i^2} \times \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} \quad \text{II. (35)}$$

ahora sustituyendo (31) en (35), obtenemos:

$$\frac{E_r^2}{E_i^2} = 1 - \sqrt{\epsilon_2 / \epsilon_1} (1 - E_r/E_i)^2 (\cos\theta_1 / \cos\theta_2) \quad \dots \text{II. (36)}$$

simplificando llegamos a:

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} \cos\theta_1 - \sqrt{\epsilon_1} \cos\theta_2}{\sqrt{\epsilon_2} \cos\theta_1 + \sqrt{\epsilon_1} \cos\theta_2} \quad \text{II. (37)}$$

pero  $\text{Sen}^2 \theta_2 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \text{Sen}^2 \theta_1$  II. (38)

entonces:

$$R_V = \frac{E_r}{E_i} = \frac{(\epsilon_2/\epsilon_1) \cos\theta_1 - \sqrt{(\epsilon_2/\epsilon_1) - \text{sen}^2\theta_1}}{(\epsilon_2/\epsilon_1) \cos\theta_1 + \sqrt{(\epsilon_2/\epsilon_1) - \text{sen}^2\theta_1}} \quad \dots (39)$$

La ecuación (39) nos dá el coeficiente de reflexión para la polarización vertical.

La tierra sin embargo, no es estrictamente un buen conductor, tal como el cobre y la plata, pero tampoco es un dieléctrico perfecto por lo cual tiene una conductividad finita que debe tomarse en cuenta.

Cuando ocurre que un medio tiene una constante dieléctrica  $\epsilon$  y una conductividad  $\sigma$ ; con valores determinados, entonces podemos aplicar la siguiente ecuación de Maxwell:

$$\nabla \times H = \epsilon \dot{E} + \sigma E \quad \text{II. (40)}$$

Si suponemos que la variación del campo eléctrico  $E$  es senoidal

$$E = E_0 e^{j\omega t} \quad \text{II. (41)}$$

entonces:

$$\dot{E} = j\omega E_0 e^{j\omega t} \quad \text{II. (42)}$$

$$\dot{E} = j\omega E \quad \text{II. (43)}$$

$$E = \frac{\dot{E}}{j\omega} \quad \text{II. (44)}$$

sustituyendo (44) en (40) obtenemos:

$$\nabla \times H = \dot{E} \left( \epsilon + \frac{\sigma}{j\omega} \right) \quad \text{II. (45)}$$

$$\nabla \times H = \epsilon' \cdot \dot{E} \quad \text{II. (46)}$$

En la expresión (46) podemos ver que un dieléctrico, parcialmente conductor, puede considerarse como un dieléctrico que tiene una constante dieléctrica compleja  $\epsilon'$ , donde:

$$\epsilon' = \epsilon + \frac{\sigma}{j\omega} = \epsilon \left( 1 + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon} \right) \quad \text{II. (47)}$$

Por tanto la ecuación derivada anteriormente para un dieléctrico perfecto se aplicará directamente a dieléctricos que



tengan pérdidas, o sea, conductancia si la constante dieléctrica  $\epsilon$  se reemplaza por la constante dieléctrica compleja.

Entonces, considerando que:

$$\epsilon_1 = \epsilon_0$$

$$\epsilon_2 = \epsilon' = \epsilon \left(1 + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon}\right)$$

$$\theta_1 = \theta$$

sustituyendo estas relaciones en la ecuación (39)

$$R_v = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) \cos\theta - \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} - \sin^2\theta}}{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) \cos\theta + \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} - \sin^2\theta}} \dots \dots \text{II.}(48)$$

Suponiendo que la onda incide en la superficie de la tierra, el medio 1 es aire, por lo cual  $\epsilon_1$  se reemplaza por  $\epsilon_0$ , la constante dieléctrica del espacio libre. También la constante dieléctrica  $\epsilon_2$  del medio 2 se reemplaza por la constante dieléctrica compleja  $\epsilon + \sigma/j\omega$ ;  $\theta$  es el ángulo de incidencia, medido desde la normal. Pero como la reflexión supuesta es en la superficie terrestre, entonces lo más usual es expresar la dirección de la onda incidente en términos del ángulo  $\psi$ , el cual es medido desde la superficie de la tierra.

$$\psi = 90^\circ - \theta \quad \text{II.}(49)$$

de tal manera que:

$$\cos \theta = \sin \psi \quad \text{II.}(50)$$

$$\sin \theta = \cos \psi \quad \text{II.}(51)$$

Aplicando las relaciones y consideraciones antes expuestas al coeficiente de Reflexión  $R_v$ , tenemos:

$$R_V = \frac{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) \operatorname{sen}\psi - \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} - \cos^2\psi}}{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) \operatorname{sen}\psi + \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} - \cos^2\psi}} \quad \text{II. (52)}$$

Se acostumbra relacionar la constante dieléctrica de la tierra con la del espacio libre por medio de la constante dieléctrica relativa  $\epsilon_r$  :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \text{II. (53)}$$

donde:

$\epsilon$  = constante dieléctrica de la tierra

$\epsilon_0$  = constante dieléctrica del espacio libre

$\epsilon_r$  = constante dieléctrica relativa

Además para simplificar aún mas la expresión (52), tenemos que:

$$x = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \text{II. (54)}$$

sustituyendo en (52):

$$R_V = \frac{(\epsilon_r - jx) \operatorname{sen}\psi - \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2\psi}}{(\epsilon_r - jx) \operatorname{sen}\psi + \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2\psi}} \quad \text{II. (55)}$$

En forma similar para el caso de una onda con polarización horizontal, es decir, cuando el campo eléctrico E es paralelo a la superficie reflectora, siguiendo el mismo procedimiento anterior llegamos a:

$$R_h = \frac{\operatorname{sen}\psi - \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2\psi}}{\operatorname{sen}\psi + \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2\psi}} \quad \text{II. (56)}$$

En este caso tambien haremos ciertos cambios para simplificar el coeficiente de reflexión.

$$\eta^2 = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} = (\epsilon_r - jx) \quad \text{II. (57)}$$

$$R_h = \frac{\sin \psi - \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \psi}} \quad \text{II. (58)}$$

y para el coeficiente de reflexión de polarización vertical, tenemos:

$$R_v = \frac{\eta^2 \sin \psi - \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \psi}}{\eta^2 \sin \psi + \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \psi}} \quad \text{II. (59)}$$

De las ecuaciones anteriores podemos deducir que: El coeficiente de reflexión difiere según el plano de polarización y es una función de las propiedades del cuerpo reflector, es decir, de la conductividad, permitividad, de la frecuencia y del ángulo de incidencia.

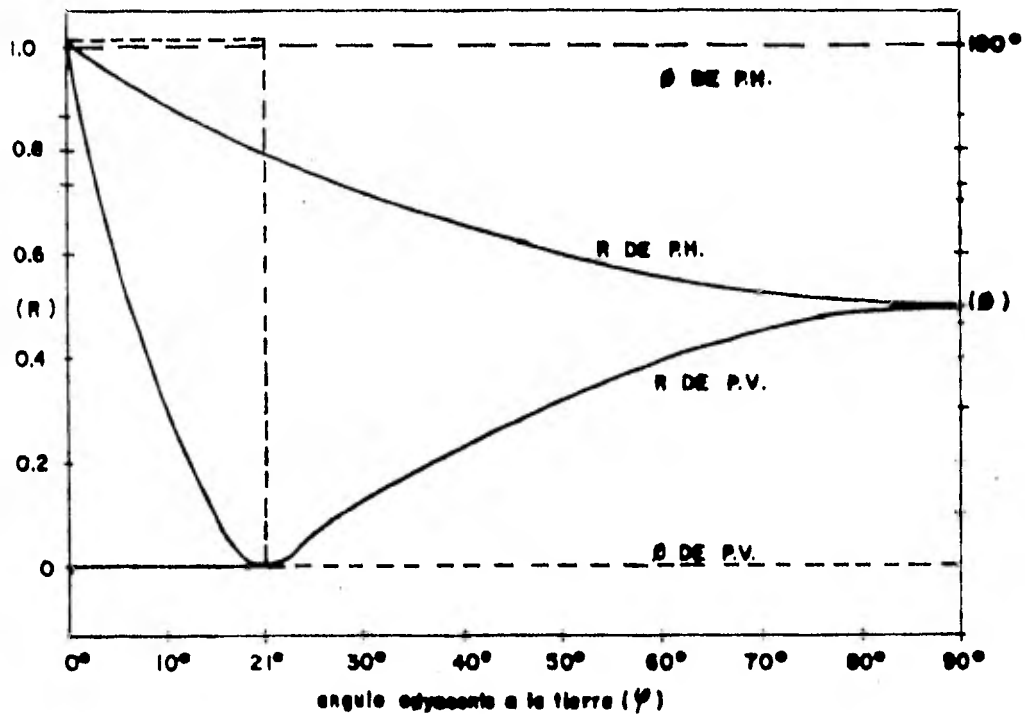
Finalmente, como  $\epsilon_0 = \frac{1}{36 \times 10^9}$

entonces:

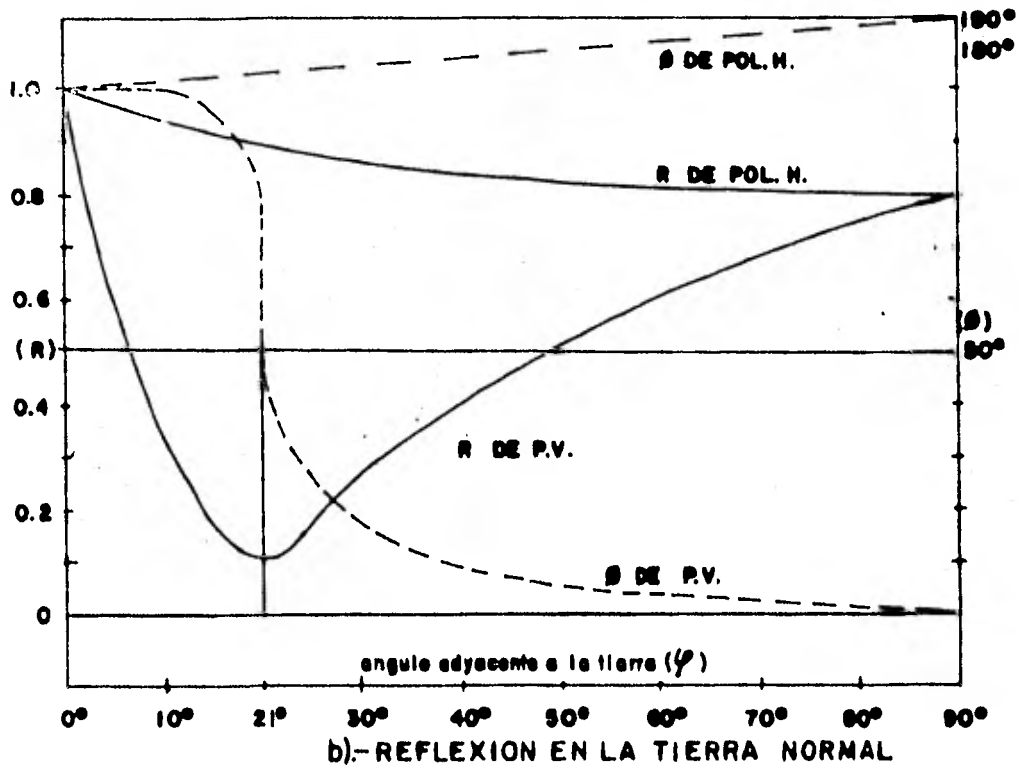
$$\eta^2 = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \quad \text{II. (60)}$$

CONSTANTE	AIRE	AGUA DEL MAR	AGUA DULCE	TIERRA HUMEDA	ARENA SECA	ZONA INDUSTRIAL
$\sigma$ ( $\nu/m$ )	0	4, 3	$5 \cdot 10^{-2} - 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$	$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36}$	80	80	15	10	4

TABLA II.3. Constantes de la Tierra.



a).- REFLEXION EN UN DIELECTRICO PERFECTO



b).- REFLEXION EN LA TIERRA NORMAL

FIG. II 7.- COEFICIENTE DE REFLEXION

## II.6. REFRACCION.

La Atmósfera es la capa que envuelve a la Tierra, y está compuesta, en general, de gases secos y de vapor de agua. Esta es una mezcla de aproximadamente 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de otros gases. Contiene vapor de agua de 0 a 5% por unidad de volumen.

La región inmediata que rodea a la superficie terrestre, y de la cual se hablará mas ampliamente en el Capítulo IV, se denomina TROPOSFERA. Dicha región se extiende desde la superficie de la Tierra hasta una altura de 10 kilómetros aproximadamente.

La Tropósfera tiene características no uniformes de temperatura, presión y humedad, que determinan el índice de refracción, la constante dieléctrica, y por lo tanto, la velocidad de propagación.

En condiciones normales de la Tropósfera, el índice de refracción decrece uniformemente al aumentar la altura. La cantidad y tipo de refracción depende de la variación con el tiempo de la temperatura, presión y humedad existente, así como, de la distribución en la Atmósfera. En ocasiones las distribuciones anormales en la Tropósfera hacen que el haz se doble hacia arriba, ocasionando condiciones anormales de propagación, o sea, cuando el índice de refracción aumenta con la altura.

Cuando el frente de onda se propaga bajo condiciones atmosféricas normales, e incide en un medio de densidad no homogénea, donde el índice de refracción es menor en la --

parte alta del frente de onda y mayor en la parte baja del mismo, entonces el haz de microondas sufrirá una ligera curvatura hacia abajo debido a que la velocidad de propagación es inversamente proporcional al índice de refracción y este fenómeno ocasiona que aumente el alcance del haz de microondas.

Para fines de cálculo, la atmósfera puede considerarse como dividida en un número infinito de fronteras paralelas concéntricas con la tierra, con cambios en el índice de refracción infinitesimales.

La Ley de Snell para la refracción se define con la siguiente expresión:

$$\eta_1 \cos \alpha_1 = \eta_2 \cos \alpha_2$$

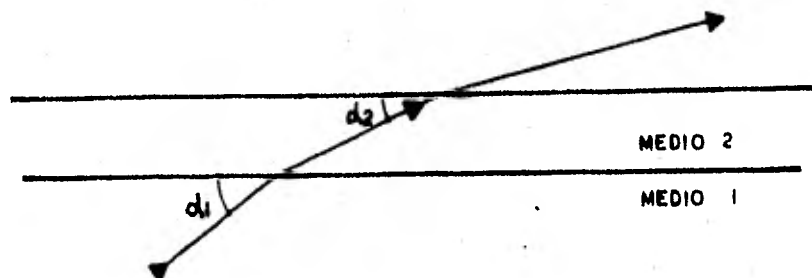


FIG. II.8 Refracción.

Sin embargo, la Ley de Snell para fronteras esféricas, tiene otra forma, la cual puede derivarse de la Fig. II.9 :

$$\eta_0 \operatorname{sen} \beta_0 = \eta_1 \operatorname{sen} \beta'_1 \quad \text{II.(61)}$$

$$\eta_1 \operatorname{sen} \beta_1 = \eta_2 \operatorname{sen} \beta'_2 \quad \text{II.(62)}$$

multiplicando ambas ecuaciones por  $r_0$  y  $r_1$  respectivamente:

$$\eta_0 r_0 \operatorname{sen} \beta_0 = \eta_1 r_0 \operatorname{sen} \beta'_1 \quad \text{II.(63)}$$

$$\eta_1 r_1 \operatorname{sen} \beta_1 = \eta_2 r_1 \operatorname{sen} \beta'_2 \quad \text{II.(64)}$$

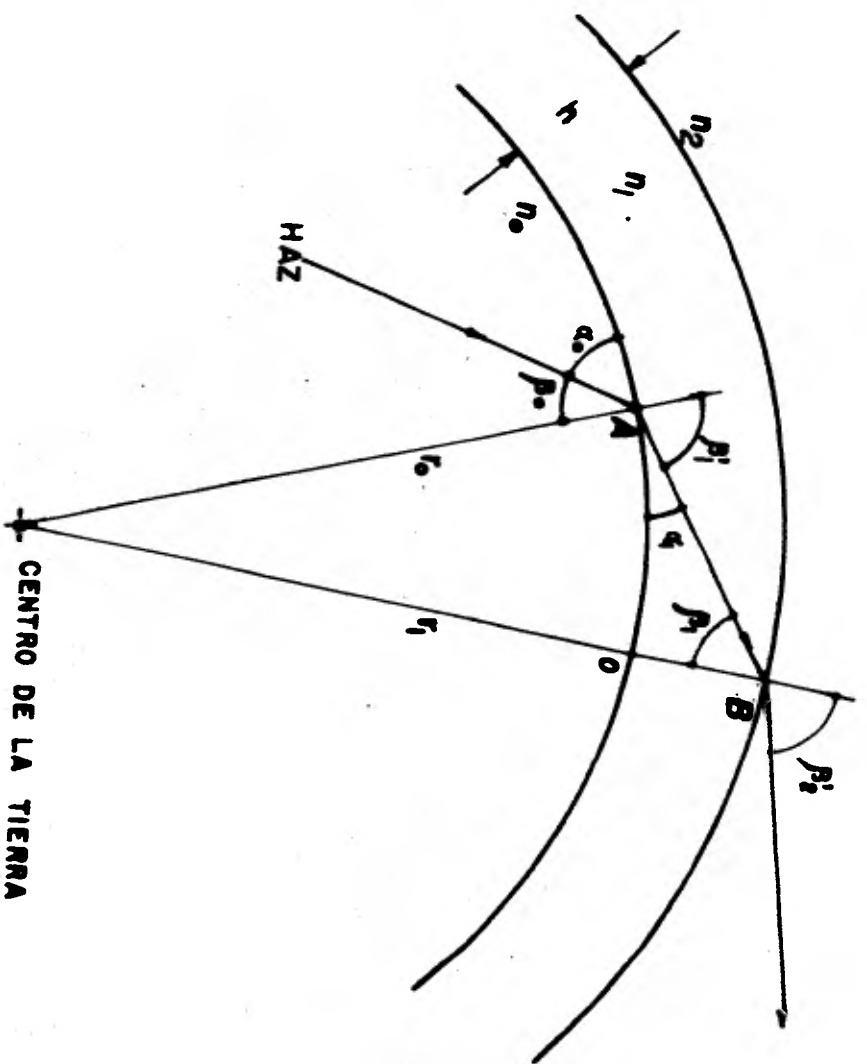


FIG.-II, 9 - DEDUCCION DE LA LEY DE SNELL PARA SUPERFICIES ESFERICAS

y ahora, si aplicamos la Ley de los Senos al triángulo ABO:

$$\frac{\text{sen}(180 - \beta'_1)}{r_1} = \frac{\text{sen } \beta'_1}{r_1} = \frac{\text{sen } \beta_1}{r_0} \quad \text{II. (65)}$$

Por tanto:

$$\eta_0 r_0 \text{sen} \beta_0 = \eta_1 r_1 \text{sen} \beta_1 = \eta_2 r_2 \text{sen} \beta_2 = \eta_n r_n \text{sen} \beta_n \quad \text{II. (66)}$$

Esta ecuación representa la condición de la atmósfera para un número infinito de capas. Cambiando estos términos y usando los ángulos  $\alpha$ , de tal forma que la ecuación (66) pueda escribirse como:

$$\eta r_1 \cos \alpha = \eta_0 r_0 \cos \alpha_0 \quad \text{II. (67)}$$

aplicando estas condiciones a las dimensiones de la Tierra tenemos:

$$\eta (a + h) \cos \alpha = \eta_0 a \cos \alpha_0 \quad \text{II. (68)}$$

donde:

- $\eta_0$  = índice de refracción al nivel del mar
- $a$  = radio de la Tierra
- $h$  = altitud relativa
- $\eta$  = índice de refracción para la altura  $h$
- $\alpha$  = representa el ángulo de incidencia a un medio diferente

## II.7. PATRON DE ALTURA.

La intensidad del campo de las microondas en la antena receptora se obtiene de la suma de los vectores de la onda directa y de la onda reflejada, cuando hay línea de vista.

Cuando el ángulo de reflexión es pequeño, la fase de la onda se invierte  $180^\circ$ ; por lo que, la onda reflejada -- tiende a cancelar parte de la onda directa. Es obvio que el haz reflector sigue una trayectoria mayor que el directo.



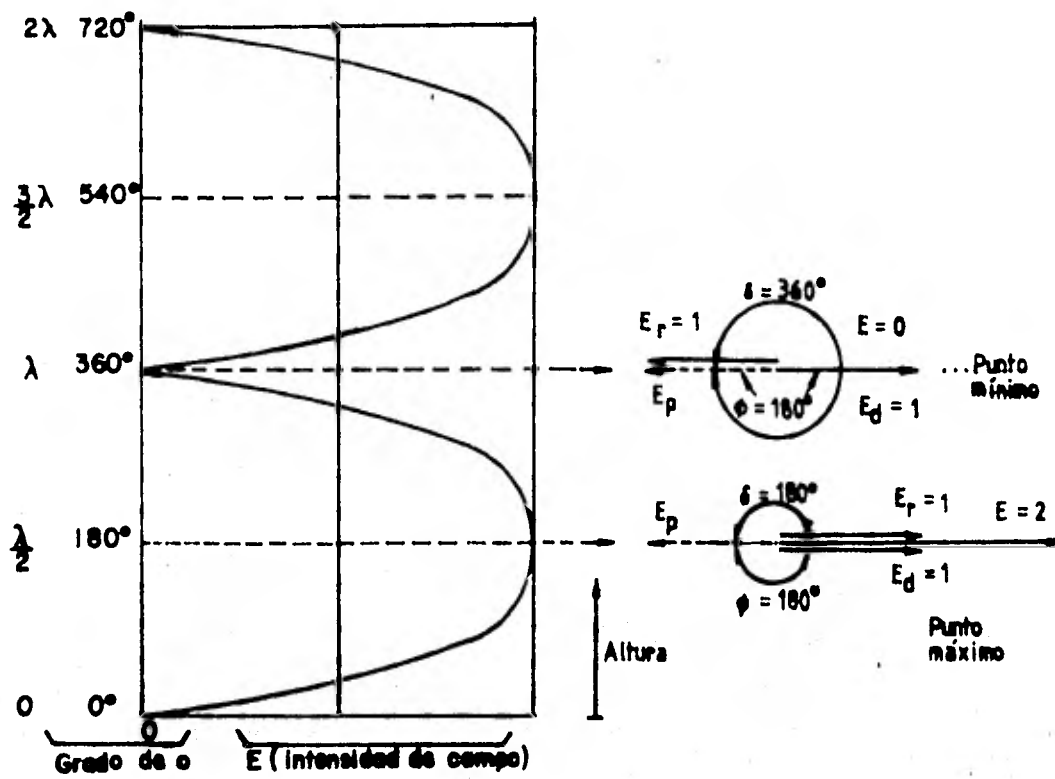


FIG- II.10.- PATRON DE ALTURA

La fase de la intensidad de campo resulta de la suma de la fase invertida  $180^\circ$  debido a la reflexión en la superficie terrestre, y la fase rezagada a la que denominaremos  $\delta$  (delta) a causa de la diferencia de trayectorias entre la onda directa y la reflejada.

La diferencia entre las trayectorias está en proporción a la multiplicación de la altura de las antenas transmisora y receptora,  $h_1$  y  $h_2$  respectivamente, y en proporción inversa a la distancia  $d$  entre las antenas, por lo que, si variamos - - cualquiera de las alturas  $h_1$  ó  $h_2$ , varía a su vez la diferencia de las trayectorias y consecuentemente varía  $\delta$  (delta).

Cuando el ángulo de retraso de la onda reflejada  $\delta$  (delta) es pequeño, la composición de vectores  $E$  se incrementa en forma directamente proporcional a  $\delta$  (delta) y cuando la diferencia de la trayectoria es igual a  $\lambda/2$ , el valor de  $\delta=180^\circ$  y la composición llega a su ángulo máximo, como se muestra en la figura II.10.

## II.8 COEFICIENTE DE DIVERGENCIA

Debido a que la superficie de la tierra es esférica, las ondas reflejadas se ven reducidas en mayor grado que cuando la superficie es plana, debido a los efectos de la divergencia como se vé en la figura II.11.

Dichos efectos pueden expresarse numéricamente utilizando una proporción del coeficiente de reflexión de una superficie esférica y del coeficiente de reflexión de una superficie plana, a lo que se denomina COEFICIENTE DE DIVERGENCIA DE UNA SU-

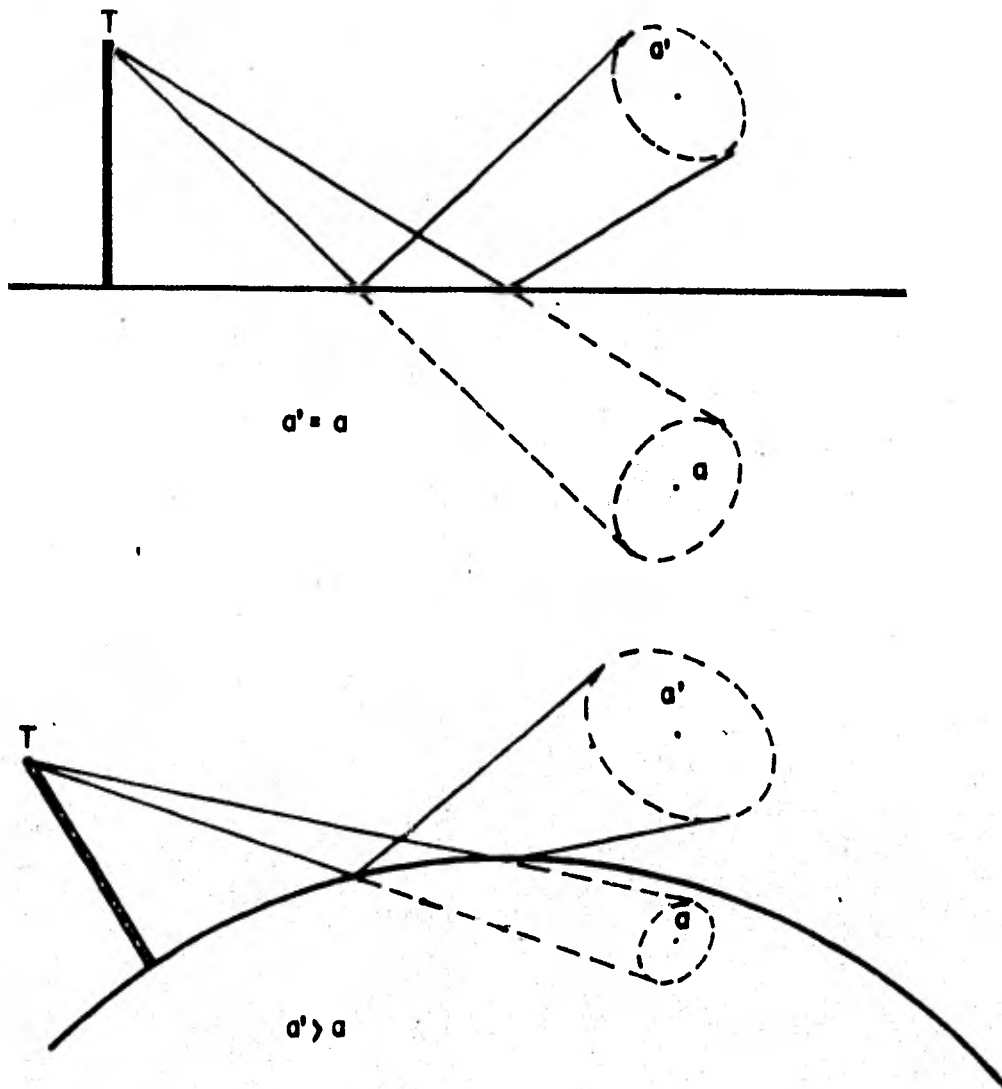


FIG.- II.11 - DIVERGENCIA DE LA ENERGIA EN UNA SUPERFICIE ESFERICA

## PERFICIE ESFERICA.

Cuando la superficie de reflexión es lisa, el valor absoluto del coeficiente de reflexión de la tierra  $\rho$  será:

$$\rho = RD \quad \text{II. (69)}$$

R: coef. de reflexión

D: coeficiente de divergencia, el cual debe cumplir con la siguiente igualdad:

$$0 < D \leq 1$$

En pequeñas distancias con visibilidad  $D \approx 1$ ; sin embargo, cuando el ángulo adyacente a la tierra  $\psi$  toma valores cercanos a cero ( $\psi \rightarrow 0$ ) y  $R \approx -1$ , también D toma valores grandes de 0.6, 0.8.

## II,9 COEFICIENTE DE REFLEXION REAL

El coeficiente de reflexión de la superficie terrestre natural no solo se determina por su constante eléctrica, sino también tomando en cuenta lo siguiente:

- 1.- La superficie de reflexión es parte de una esfera y se produce un efecto de divergencia en los ángulos de reflexión.
- 2.- Las irregularidades geográficas producen un efecto de dispersión.
- 3.- El efecto direccional de las antenas y el efecto de blindaje de las colinas y otros obstáculos.

El coeficiente calculado de esta manera es generalmente mayor comparado con el coeficiente de reflexión de una super-

ficie plana y a este coeficiente se le denomina COEFICIENTE DE REFLEXION REAL  $\rho_e$  y su EXPRESION es la siguiente:

$$\rho_e = R \cdot D \cdot S \cdot Z \cdot Y_1 \cdot Y_2 \quad \text{II.(70)}$$

en donde:

R = coeficiente de reflexión de una superficie terrestre completamente plana

D = coeficiente de divergencia de una superficie de reflexión que es parte de una esfera, y cuya expresión es:

$$D \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2d_1 d_2}{K a (d_1 + d_2) \sin \psi}}} \quad \text{II.(71)}$$

donde a su vez:

$d_1$ : distancia desde el punto de reflexión al transmisor

$d_2$ : distancia del punto de reflexión a la antena receptora

K: coeficiente del radio efectivo terrestre

a: radio real terrestre

S = coeficiente de dispersión, debido a las irregularidades geográficas, ver tabla II.4.

CONDICIONES DE LA TIERRA	SUPERFICIE DEL AGUA	TERRENO PLANO	TERRENO ACCIDENTADO
S	1.0 a 0.8	0.6 a 0.2	MEJOR QUE 0.3

TABLA II.4. VALOR DE S

Z = coeficiente de difracción de la onda reflejada debido

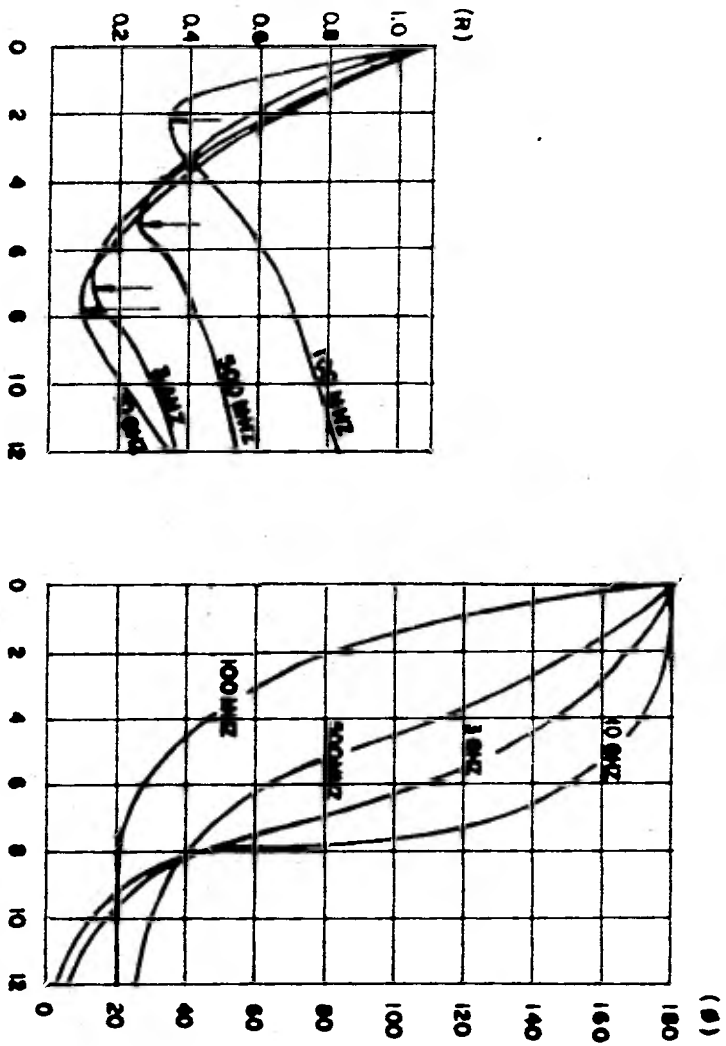


FIG. II. 12.- REFLEXION EN LA SUPERFICIE DEL MAR.

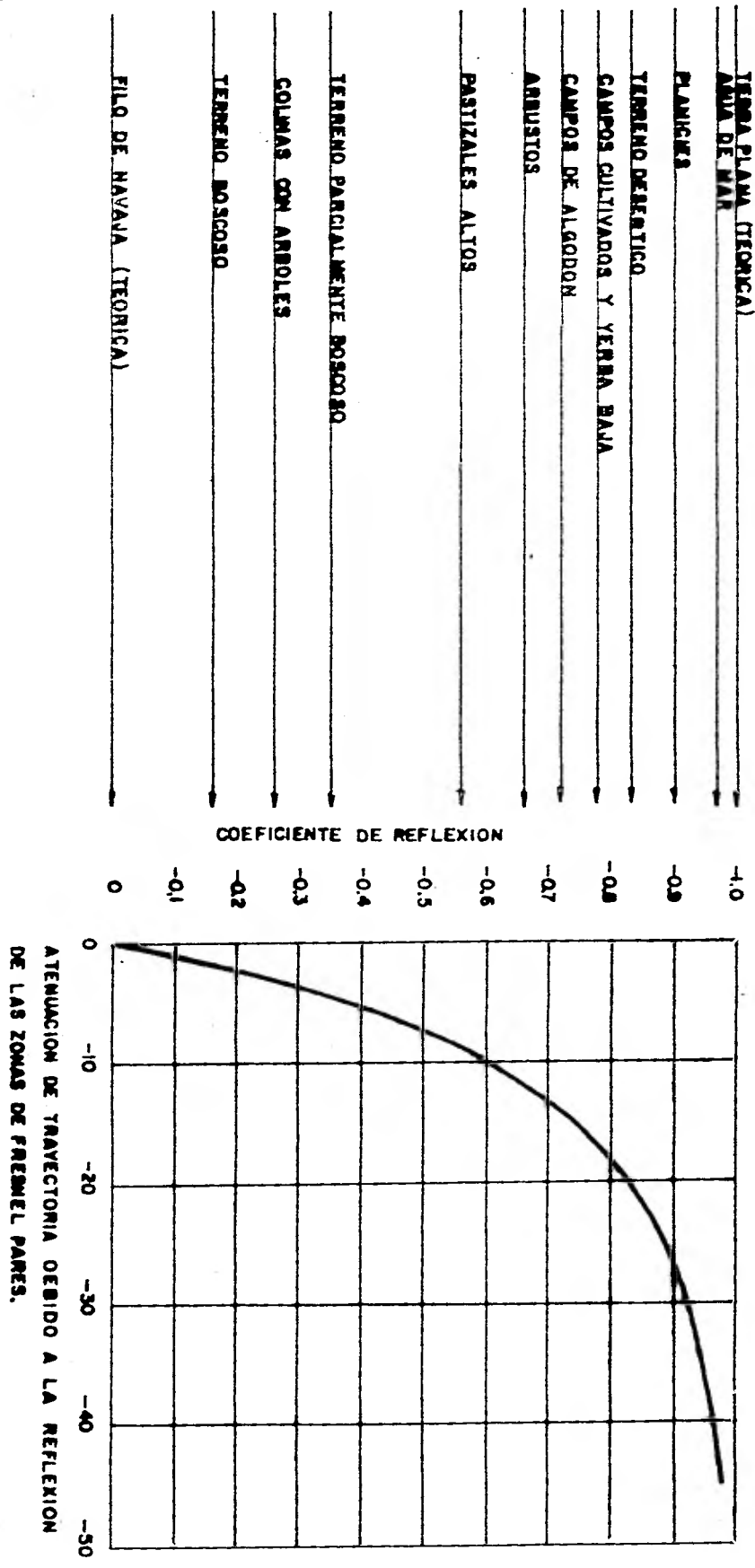


FIG. II.13.- COEFICIENTES DE REFLEXION PARA VARIAS CONDICIONES REALES

a las colinas y obstáculos.

$Y_1, Y_2$  = Factor de reducción de la onda reflejada debido a las antenas de transmisión y recepción.

A RDZ se le conoce como coeficiente de reflexión equivalente.

## II.10. PROPAGACION EN TIERRA ESFERICA,

Las fórmulas desarrolladas para el supuesto caso de que la Tierra sea plana nos dan una respuesta que es aproximadamente correcta para distancias muy cortas, pero no debe esperarse que sean correctas para grandes distancias.

Mas allá de la distancia  $d = 50/f^{1/3}$  MHz millas, la intensidad de campo real comienza a desviarse del valor calculado para la tierra plana supuesta.

La curvatura de la Tierra afecta a la propagación de la onda de varias maneras:

- 1.- Lo curvado de la superficie terrestre evita que la onda llegue al receptor describiendo una línea recta. La onda que logra llegar al receptor, lo hace por difracción en la superficie curva de la Tierra y por refracción en la Atmósfera inferior, que está inmediatamente sobre la superficie terrestre.
- 2.- Para antenas elevadas, la onda se ve afectada en dos formas diferentes:
  - a). La onda reflejada en la tierra, realmente se refleja en una superficie curvada y
  - b). Su energía se ve afectada por la divergencia en mayor grado que cuando se trata de tierra plana.



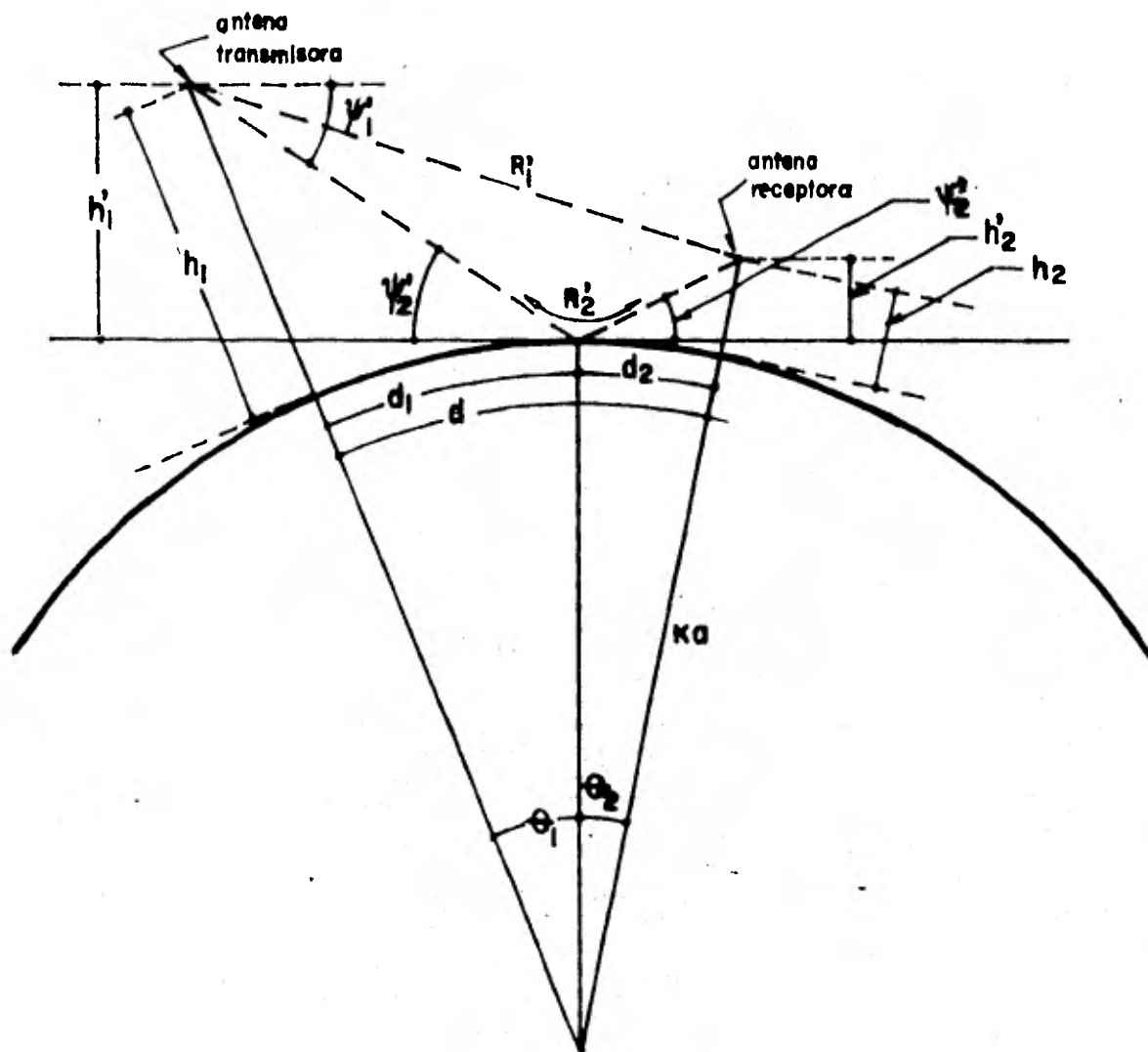


FIG.- II.14.- GEOMETRIA PARA TIERRA ESFERICA

Esto quiere decir que cuando la onda reflejada en la tierra llegue a la antena receptora, será una señal bastante débil que se verá afectada por el coeficiente de divergencia - "D", el cual es menor que la unidad.

3.- Para tierra esférica, las alturas  $h'_1$  y  $h'_2$  de las antenas transmisora y receptora, medidas a partir del plano formado por la tangente a la superficie de la tierra en el punto de reflexión de la onda reflejada, es menor que la altura de las antenas  $h_1$  y  $h_2$  sobre la superficie terrestre, ver Fig. II.14.

En este caso no son aplicables las Ecuaciones de Maxwell, las soluciones formales a este problema se han desarro--llado, las cuales son mas complicadas que la solución pa--ra el caso de tierra rigurosamente plana. Por ejemplo,-- una de tales soluciones es una serie infinita de armóni--cas esféricas con coeficientes que contienen 12 (doce) --funciones de Bessel. La convergencia de tales series es extremadamente lenta.

## II.11. ZONA DE FRESNEL.

Supongamos el caso simple de transmisión desde un punto T a un punto R en el espacio libre, donde hay un número in--finito de trayectorias, y cada trayectoria se origina en una fuente secundaria en el frente de onda, con base en la Figu--ra II.15, obtenemos las siguientes relaciones:

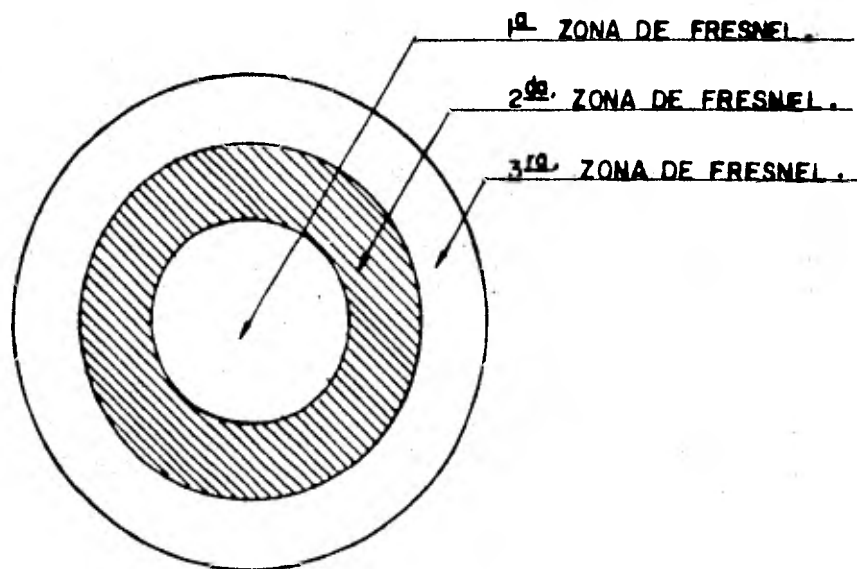
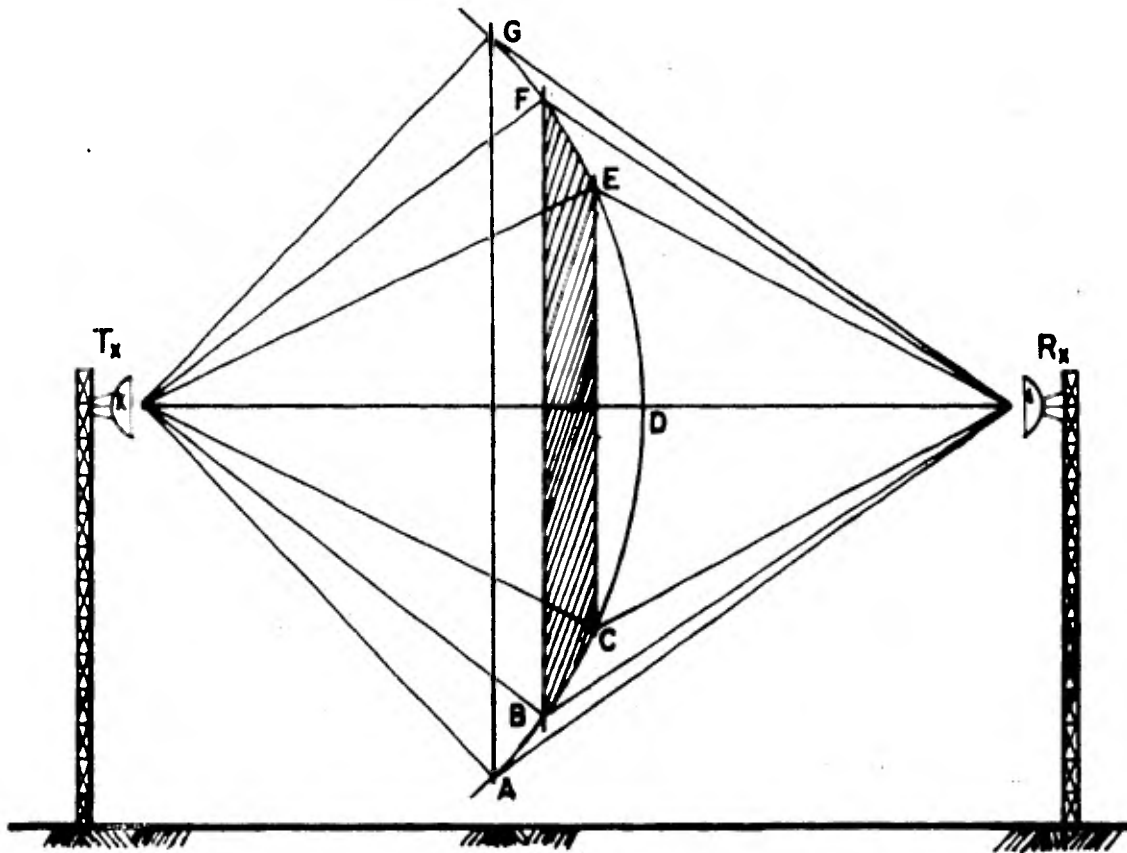


FIG- II. 15.- ZONAS DE FRESNEL.

$$TDR = d \quad \text{II. (72)}$$

$$TGR = TGR + \frac{\lambda}{2} = d + \frac{\lambda}{2} \quad \text{II. (73)}$$

$$TFR = TDR + \lambda = d + \lambda \quad \text{II. (74)}$$

$$TER = TDR + \frac{3}{2}\lambda = d + \frac{3}{2}\lambda \quad \text{II. (75)}$$

El frente de onda descrito por el arco AG es una zona -- particular del haz de energía que parte desde el punto T. Los puntos que se encuentran desde A hasta G en el frente de onda descrito en la Fig. II.15, se denominan FUENTES SECUNDARIAS, -- tambien conocidos como CENTROS DE RADIACION DE HUYGENS. El -- radio de los círculos cuyos diámetros se describen por los -- puntos AG, BF y CE, se eligen de tal manera que la longitud -- total de la trayectoria desde T a R a través de cada círculo es  $n\frac{\lambda}{2}$  mayor que la trayectoria mas corta TDR, donde n es siempre entero.

La distancia ER es  $\frac{1}{2}\lambda$  mayor que la distancia DR, y la -- distancia FR es mayor que la distancia ER por  $\frac{1}{2}\lambda$ , y así suce-- sivamente.

Las regiones circulares formadas por esos radios se lla-- man ZONAS DE FRESNEL, y no son iguales, ya que la energía de-- crece en proporción a la distancia desde el centro de la 1ª -- zona de Fresnel, o sea, desde un punto que se encuentra en la línea recta que une a las antenas transmisora y receptora. -- El campo proporcionado por cada zona es alternadamente posi-- tivo y negativo. Por tanto, el campo total recibido en R es el vector suma de todos los campos incidentes; por ejemplo: una onda que llega al punto R desde una fuente secundaria C del -- frente de onda. Como la longitud de la trayectoria CR es  $1/2\lambda$

mayor que la trayectoria DR, la onda que llega desde C al receptor, estará fuera de fase con respecto a la onda directa y su contribución al campo total recibido será positiva. Por tanto, podemos deducir en base a lo anteriormente expuesto, que, las Zonas de Fresnel de número impar son negativas, y -- las pares son positivas.

Hay un número ilimitado de zonas de Fresnel en un frente de onda, pero realmente la primera zona es la más importante. El radio de la primera Zona de Fresnel en cualquier punto a lo largo de la trayectoria de transmisión puede encontrarse con la expresión siguiente (ver Figura II.16):

$$Z_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{F \cdot D}} \quad \text{II. (76)}$$

donde:

- $Z_1$  = Radio de la 1ª zona de Fresnel en metros.
- $d_1$  = Distancia de un punto de la trayectoria, donde se desea conocer el radio de la 1ª zona de Fresnel, a un extremo de la trayectoria, en kilómetros.
- $d_2$  = Distancia desde el mismo punto de la trayectoria al otro extremo de la trayectoria, en kilómetros.
- $D$  = Distancia total de la trayectoria en kilómetros.
- $F$  = Frecuencia de operación en GHz.

Y para la  $n$ ésima Zona de Fresnel, el radio será:

$$Z_n = Z_1 \sqrt{n} \quad \text{II. (77)}$$

La mayor parte de la energía se encuentra en la primera zona de Fresnel, por eso es importante en sistemas de línea de vista obtener una área libre de obstáculos a lo largo de --

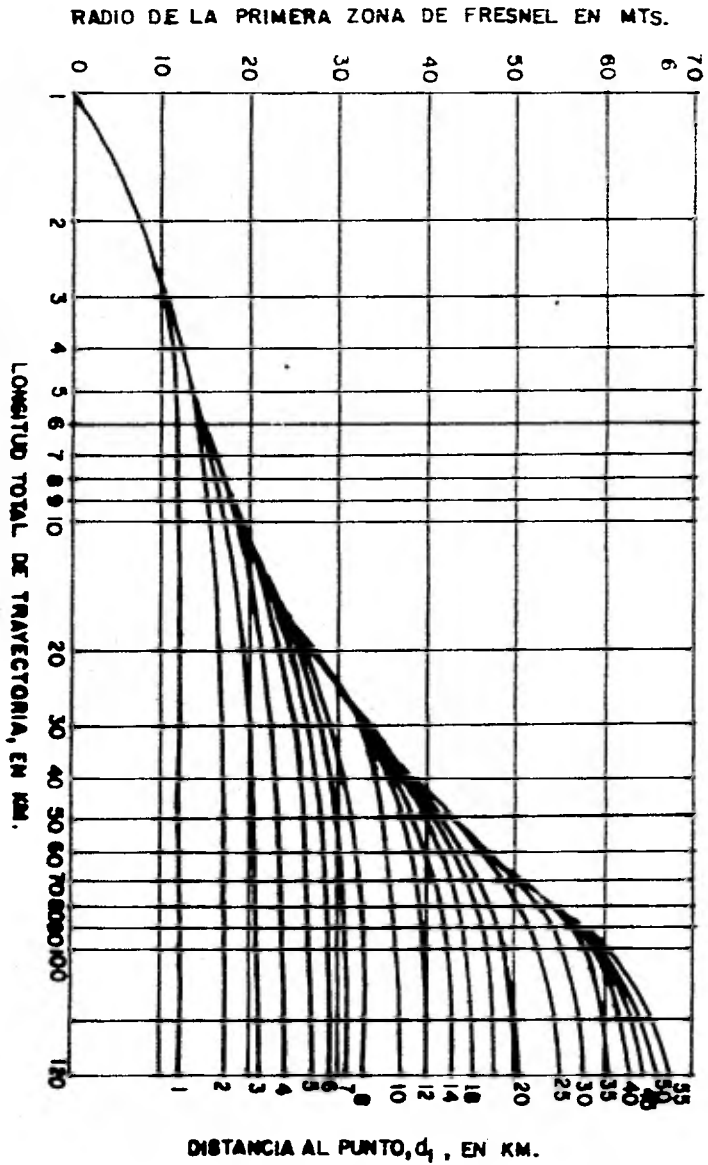


FIG.-II.16 - RADIO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL.

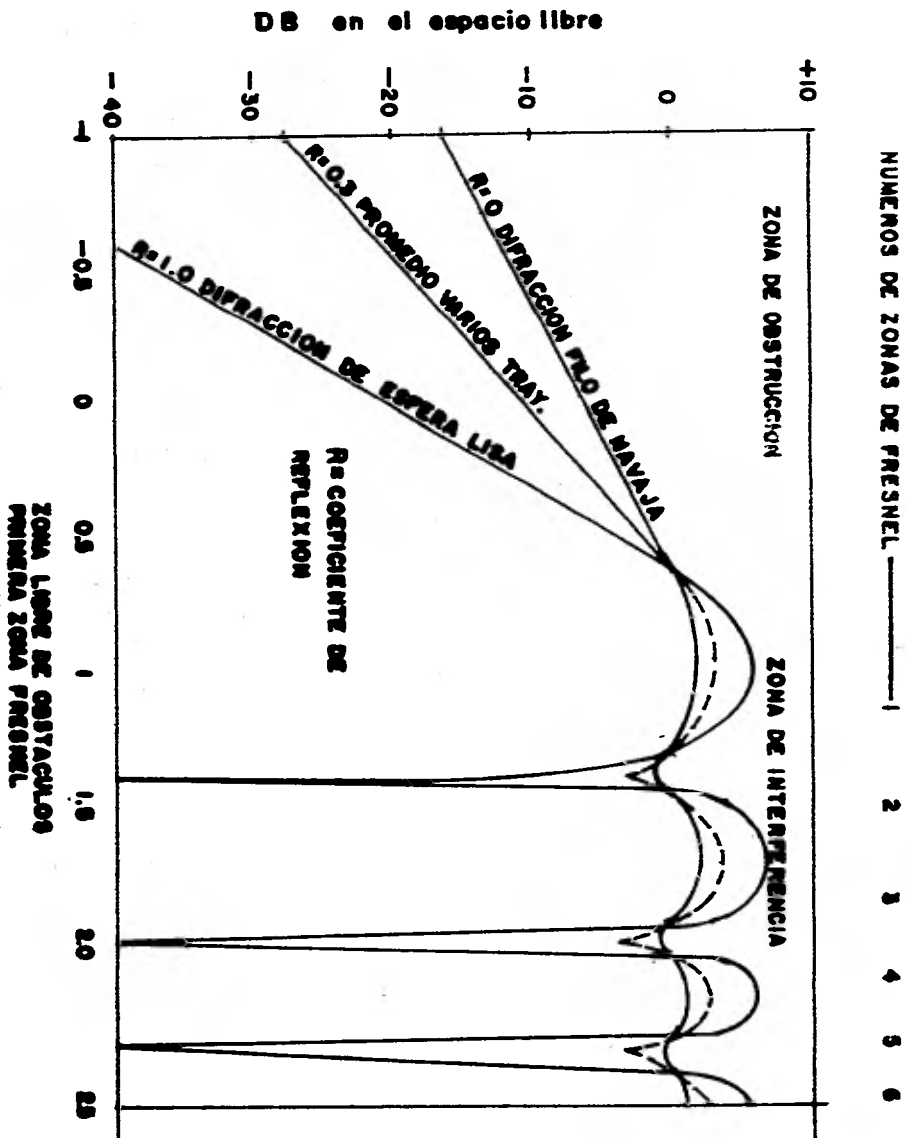


FIG. D.17 - ATENUACION VS. TRAYECTORIA LIBRE DE OBSTACULOS.

la trayectoria.

## II.12. CURVATURA DE LA TIERRA.

Para distancias entre antenas de transmisión y recepción menores de 10 kilómetros, se puede considerar a la superficie terrestre como una superficie plana, es decir, la curvatura terrestre no afecta a la transmisión, pero para distancias mayores, el haz tiende a curvarse hacia abajo debido a las influencias de las condiciones climatológicas.

La dirección y el grado de curvatura puede determinarse por medio de un factor K, llamado FACTOR DE RADIO EQUIVALENTE TERRESTRE. Este factor multiplica al radio real de la Tierra "a", y como resultado obtenemos una curvatura terrestre ficticia. La curva es equivalente a la curvatura relativa del haz de microondas con respecto a la curvatura real de la Tierra, es decir, es igual a la curvatura real de la Tierra menos la curvatura del haz de microondas.

El valor de K depende de las condiciones atmosféricas, por tanto cualquier cambio en la curvatura del haz de microondas producido por dichas condiciones, puede expresarse como un cambio en el valor del factor K.

La curvatura para varios valores de K puede calcularse con la siguiente expresión

$$h = \frac{d_1 \cdot d_2}{12.75 K} \quad \text{II.(78)}$$



donde:

$h$  = cambio en la distancia vertical desde una línea horizontal como referencia, en metros.

$d_1$  = la distancia desde un punto cualquiera de la trayectoria a un extremo de ésta, en kilómetros.

$d_2$  = la distancia del mismo punto al otro extremo de la trayectoria, en kilómetros.

$K$  = factor del radio equivalente de la Tierra.

### II.13. INDICE DE REFRACCION MODIFICADO.

El comportamiento de un haz de microondas que se propaga en la Atmósfera, lo determina el índice de refractividad del aire, dicho índice sufre variaciones al incrementarse la altura.

Como vimos anteriormente, el índice de refracción o Ley de Snell para capas esféricas está dado por la expresión:

$$\eta_0 a \cos \alpha_0 = \eta(a + h) \cos \alpha$$

Considerando que  $\eta$  tiene un valor muy próximo a 1, entonces:

$$\alpha_0 = \alpha$$

$$\eta_0 = \eta$$

obtenemos:

$$\eta = \left( \eta + \frac{h}{a} \right) \quad \text{II.(79)}$$

En la tropósfera, la relación  $\frac{h}{a}$  tiene un valor bastante pequeño, y el valor de  $\eta \approx 1$  y por tanto  $m \approx 1$ .

Como las variaciones del índice de refractividad  $\eta$  son muy pequeñas, se modificó dicho índice para poder manejarlo -



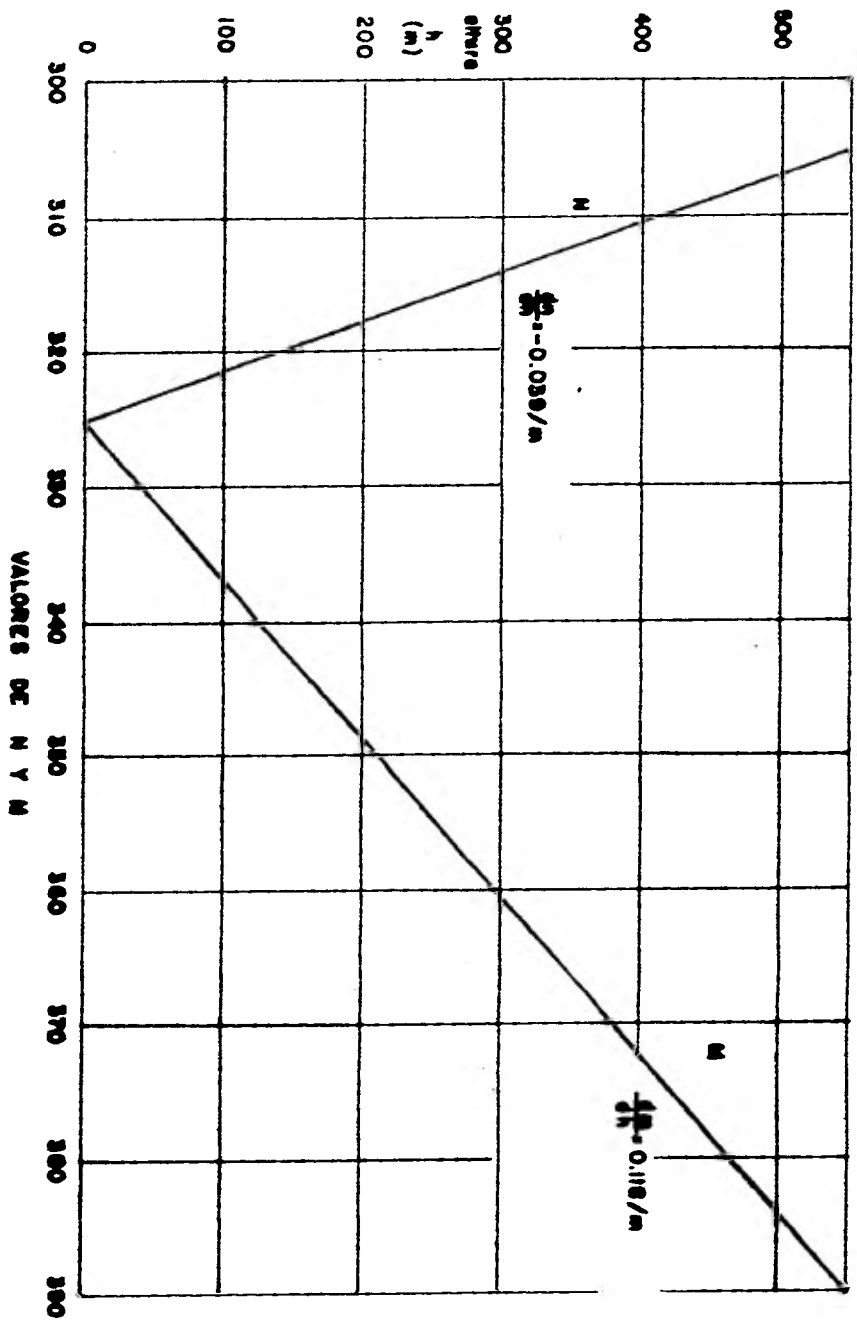


FIG. II.18 - TENDENCIAS NORMALES DE N Y M

## II.14. CURVAS M.

Existe un tipo de curvas con las cuales podemos estimar el comportamiento del índice de refracción modificado, las cuales se conocen como curvas M. En la Fig. II.19 aparecen los seis tipos de curvas.

TIPO 1.- Representa una Atmósfera NORMAL. En este caso  $K = \frac{4}{3}$  y la curva M está representada por una línea recta, cuya pendiente está definida por:

$$\frac{dM}{dh} = 0.118$$

Lo cual quiere decir que la trayectoria del haz de microondas es una línea recta.

TIPO 2.- Cuando ocurren grandes variaciones de M a alturas relativamente pequeñas, para después de determinada altura volverse normales, se denomina condición SEMINORMAL.

TIPO 3.- Cuando se incrementa el contenido de vapor al aumentar la altura, o cuando la temperatura en la superficie terrestre es alta, se presenta la condición denominada SUBESTANDAR O SUBNORMAL, que ocasiona que el haz de microondas se doble hacia arriba, alejándose de la superficie terrestre.

En este caso la pendiente  $dM/dh > 0.157$  y el valor de K variará de 0 a 1 ( $0 < K < 1$ ), y además  $\alpha < 0$ . Puede observarse además que los incrementos de M con respecto a la altura son grandes en pequeñas variaciones de altura.

TIPO 4.- Cuando ocurre un incremento de temperatura al aumentar la altura puede suceder que disminuya el contenido de vapor de agua, o que se presente junto con la elevación de la temperatura al mismo tiempo, entonces la curva 4 de la Fig. II.19 representa a esta condición, la cual es una condición ligeramente SUPERESTANDAR.

En este caso el haz de microondas se propagará cerca de la superficie terrestre, dentro de una especie de ducto formado por las condiciones atmosféricas.

TIPO 5 Y 6.- Cuando el cambio en el índice de refracción es mas severo cerca de la superficie terrestre, la condición que resulta se denomina SUPERESTANDAR. Este fenómeno ocurre cuando el contenido de humedad del aire en la superficie terrestre es muy alto, pero disminuye rápidamente con la altura.

La energía que inicialmente se dirige en una trayectoria aproximadamente paralela a la superficie terrestre, al encontrarse una región donde:

$$\frac{dM}{dh} < 0$$

es decir, la pendiente de la curva es negativa, ocurrirá que la energía tendrá cierta tendencia a propagarse a lo largo de la superficie curva de la tierra, en una serie de saltos debidos a reflexiones sucesivas en la superficie terrestre, fenómeno que se llama "Propagación por Ducto".

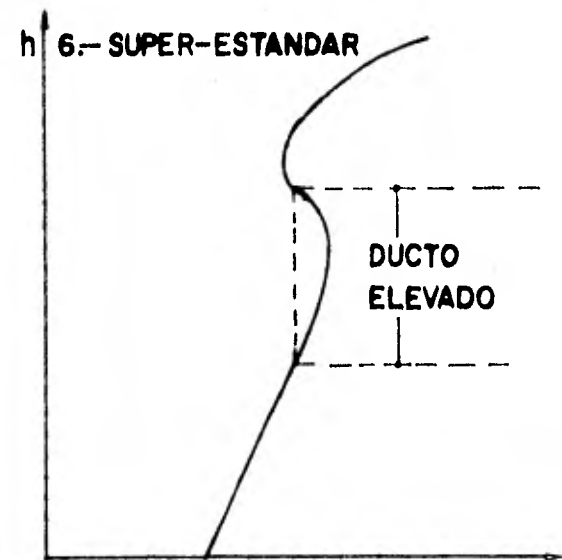
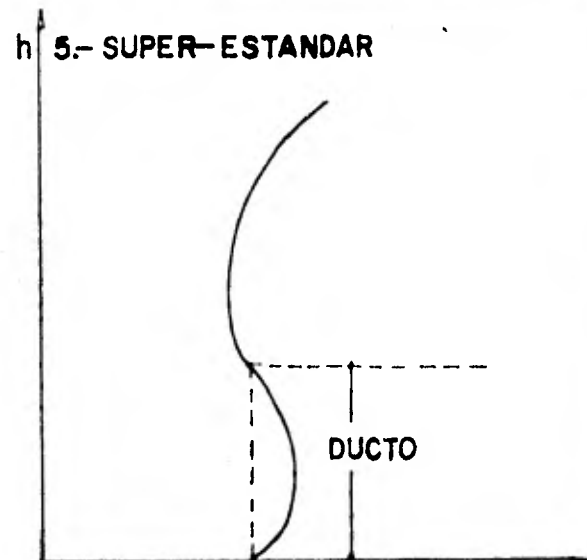
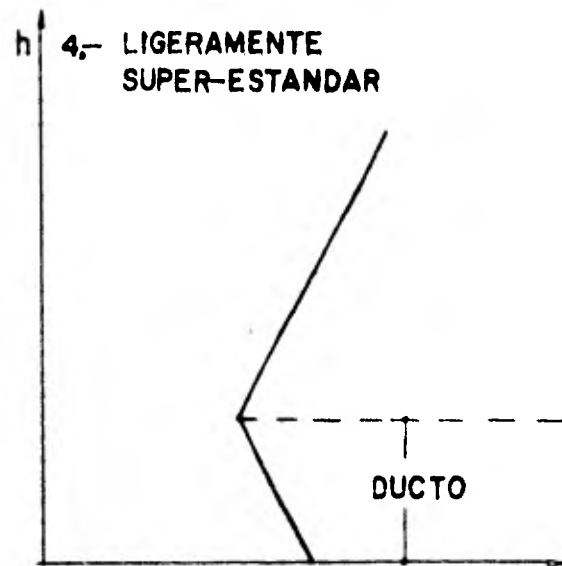
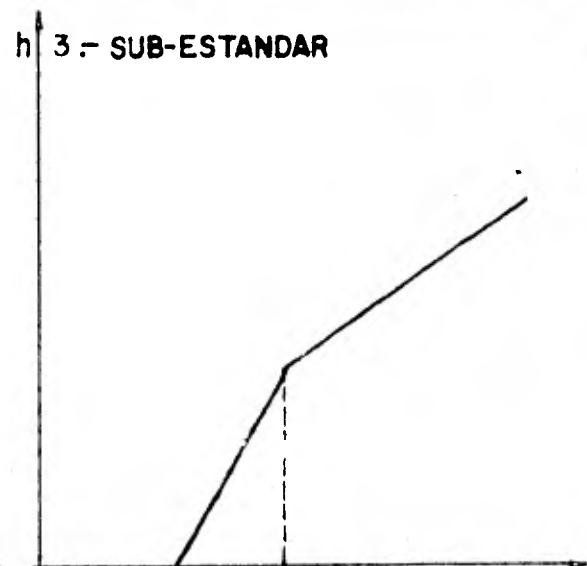
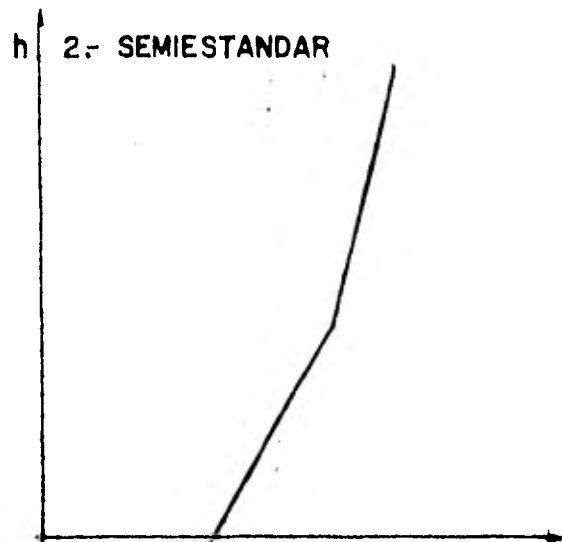
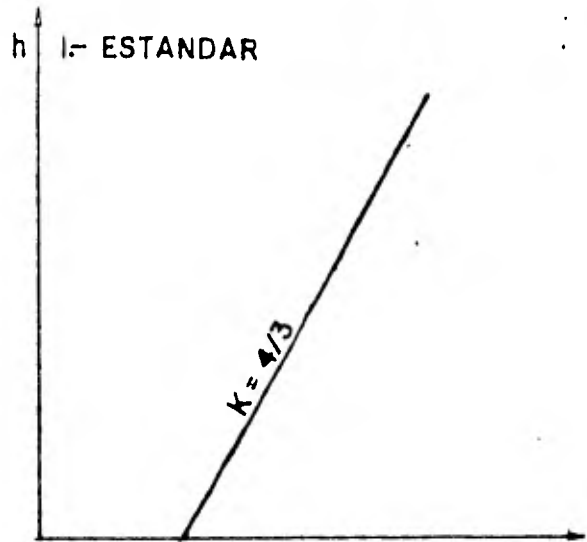


FIG.- II.19.- CURVAS M.

## II.15 EL FACTOR K.

Con el conocimiento de las variaciones de M, podemos calcular el radio de la trayectoria curva  $u$  de las ondas, con la siguiente fórmula:

$$u = \frac{-1}{\cos\alpha \frac{dN}{dh} \times 10^{-6}} \quad \text{II. (85)}$$

donde:

$\alpha$  = ángulo que forma el haz con la frontera de dos medios diferentes, ver Figuras II.8 y II.9.

En la trayectoria de propagación de microondas el ángulo  $\alpha$  es casi cero, y por tanto, el  $\cos \alpha$  es casi igual a uno, entonces:

$$u = \frac{-1}{\frac{dN}{dh} \times 10^{-6}} \quad \text{II. (86)}$$

Cuando el valor de  $u$  es positivo, la trayectoria de propagación del haz es de forma curva descendente, es decir, curvada hacia la superficie terrestre, y cuando es negativo - el valor de  $u$ , la curva es ascendente. En una atmósfera en condiciones normales, las ondas se propagan en una trayectoria curva descendente de cuatro veces el radio terrestre, por lo cual las ondas llegan a una distancia mayor que las de percepción geométrica, como se ve en la Fig. II.20.

Si queremos modificar esta trayectoria curva, de manera que forme una línea recta, necesitamos cambiar el grado de --

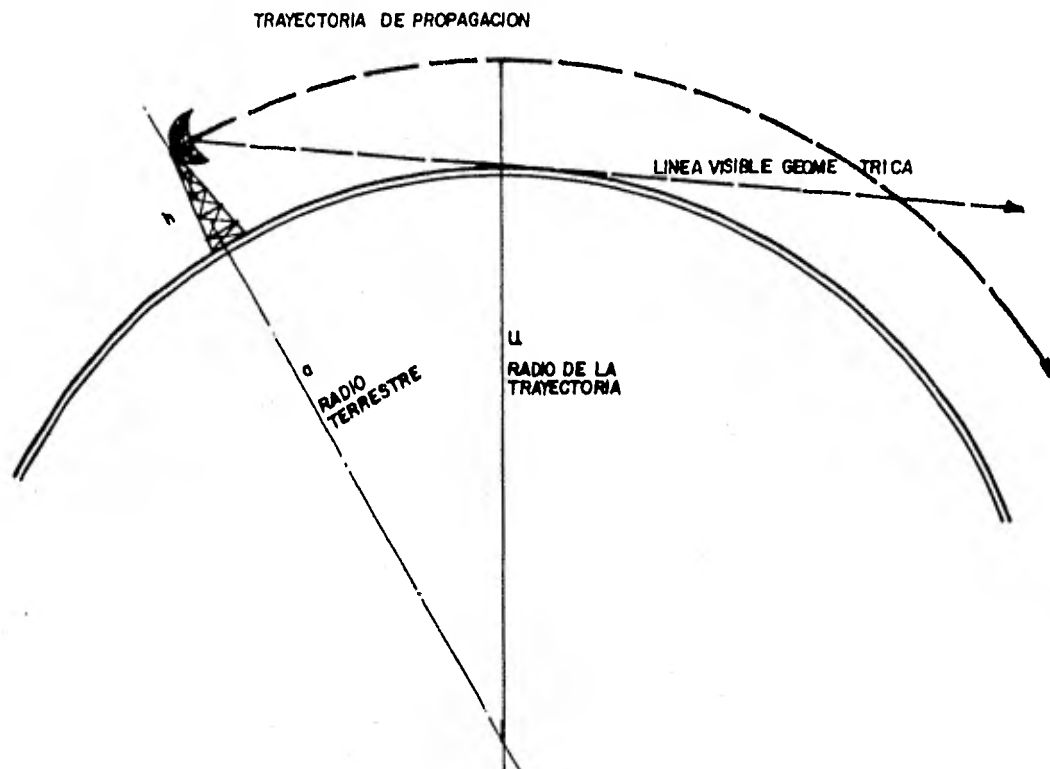


FIG. II. 20.-TRAYECTORIA DE PROPAGACION DE MICROONDAS



altura de la superficie terrestre, lo cual puede obtenerse con un radio terrestre mayor que el real, es decir, suponiendo que la Tierra es una esfera mas grande.

De acuerdo con la Figura II.21 se considera que el cambio en la altura será igual en ambos casos (trayectoria recta o curva), para que las trayectorias rectas sean equivalentes.

De la Figura II.21b, obtenemos:

$$dh = BO - AO = (K a + h) \left( \frac{1}{\cos \theta_e} - 1 \right) \quad \text{II. (87)}$$

Para ángulos pequeños:

$$\frac{1}{\cos \theta_e} \approx \frac{1}{1 - \frac{\theta_e^2}{2}} \approx 1 + \frac{\theta_e^2}{2} \quad \text{II. (88)}$$

Por tanto:

$$dh = (K a + h) \frac{\theta_e^2}{2}$$

Pero como:

$$K a \gg h$$

y utilizando la aproximación para ángulos pequeños:

$$dh = \frac{K a \theta_e^2}{2} \quad \text{II. (89)}$$

$$\theta_e \approx \sin \theta_e \approx \frac{D}{K a + h} \approx \frac{D}{K a} \quad \text{II. (90)}$$

entonces:

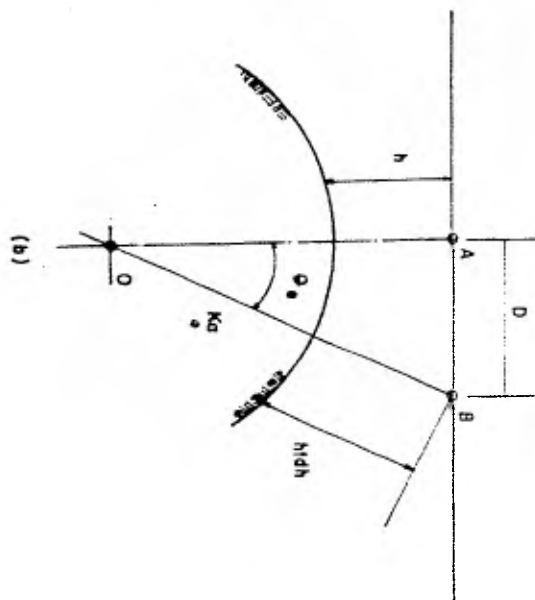
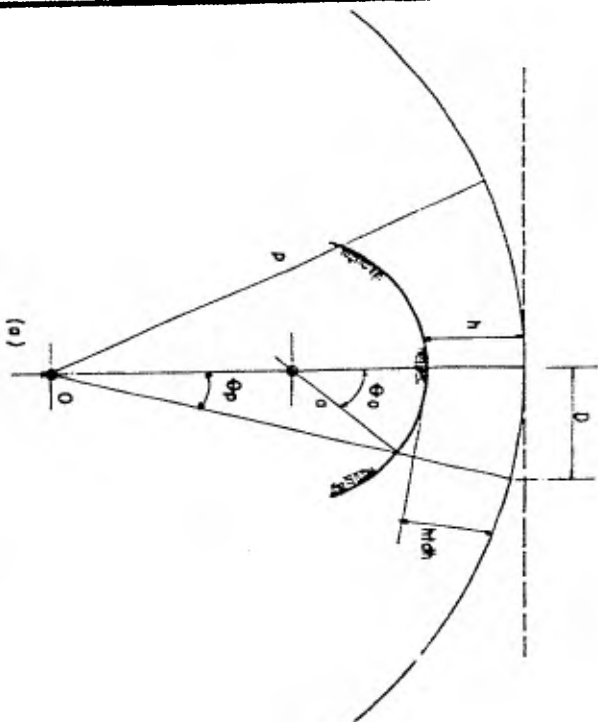


FIG- II - 21 .--RADIO EQUIVALENTE TERRESTRE

$$dh = \frac{Ka}{2} \times \frac{D^2}{(Ka)^2} = \frac{D^2}{2Ka} \quad \text{II. (91)}$$

Usando el mismo procedimiento para la figura II-21a, obtendremos:

$$dh = \frac{D^2}{2a} - \frac{D^2}{2} \quad \text{II. (92)}$$

Ahora igualando las expresiones (91) y (92) llegaremos a:

$$Ka = a \left( \frac{1}{1 - \frac{a}{u}} \right)$$

$$K = \frac{1}{1 - \frac{a}{u}} \quad \text{II. (93)}$$

que se denomina RADIO EQUIVALENTE TERRESTRE,

donde:

$K$  = radio equivalente terrestre

$a$  = radio real terrestre

$u$  = radio de la trayectoria de propagación.

Si establecemos que:

$$X = \frac{u}{a} \quad \text{II. (94)}$$

entonces:

$$X = \frac{-10^6}{a \frac{dN}{dh}} \quad \text{II. (95)}$$

donde:

$$u = - \frac{10^6}{\frac{dN}{dh}}$$

entonces:

$$K = \frac{X}{X - 1} \quad \text{II. (96)}$$

y,

$$X = \frac{K}{K - 1} \quad \text{II. (97)}$$

ahora derivando la expresión con respecto a  $h$ ,  $N = M - \frac{h}{a} 10^6$ :

$$\frac{dN}{dh} = \frac{dM}{dh} - \frac{10^6}{a} \quad \text{II. (98)}$$

llegamos a:

$$K = \frac{10^6}{a \frac{dM}{dh}} \quad \text{II. (99)}$$

donde  $a = 6.37 \times 10^6$ , metros. Por tanto (99) queda como:

$$K = \frac{0.157}{\frac{dM}{dh}} \quad \text{II. (100)}$$

En la figura II.22 podemos ver la relación que existe entre las variaciones de  $K$  y las de la trayectoria curva, y de acuerdo con las expresiones anteriores podemos concluir con la tabla II.5 que a continuación se muestra.

$\frac{dM}{dh}$	$K$	$X$	TIPO DE TRAYECTORIA
0.157	1	$\infty$	Recta sin refracción
$> 0.157$	$0 < K < 1$	$< 0$	Curva ascendente
0.118	4/3	4	Curva descendente, atm. normal
0	$\infty$	1	Paralela a la Sup. terrestre
$< 0$	$< 0$	$0 < X < 1$	Curva descendente

TABLA II.5

## II.16 PERFILES EQUIVALENTES DE LA TIERRA

En el proyecto de un enlace de microondas es indispensable

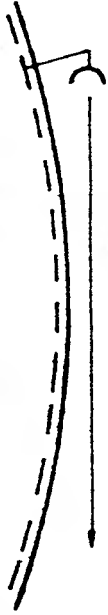
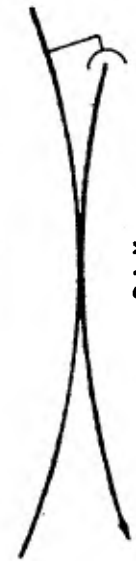





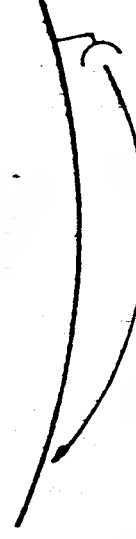

$\frac{gH}{u^2}$	curvatura de la trayectoria en la tierra real. $g \neq u$ .	formas que adopta la tierra equivalente, en una trayectoria real. $K = R/g$ .
0.157	$X = \infty$ 	$K = 1$ tierra equivalente. tierra real.
$0.157 \frac{gH}{u^2}$	$X < 0$ 	$0 < K < 1$ 
0.118	$X = 4$ 	$K = 4/3$ 
0	$X = 1$ 	$K = \infty$ 
$\frac{gH}{u^2} < 0$	$0 < X < 1$ 	$K < 0$ 

FIG. II. 22.- VALORES DE K Y FORMAS DE TRAYECTORIAS

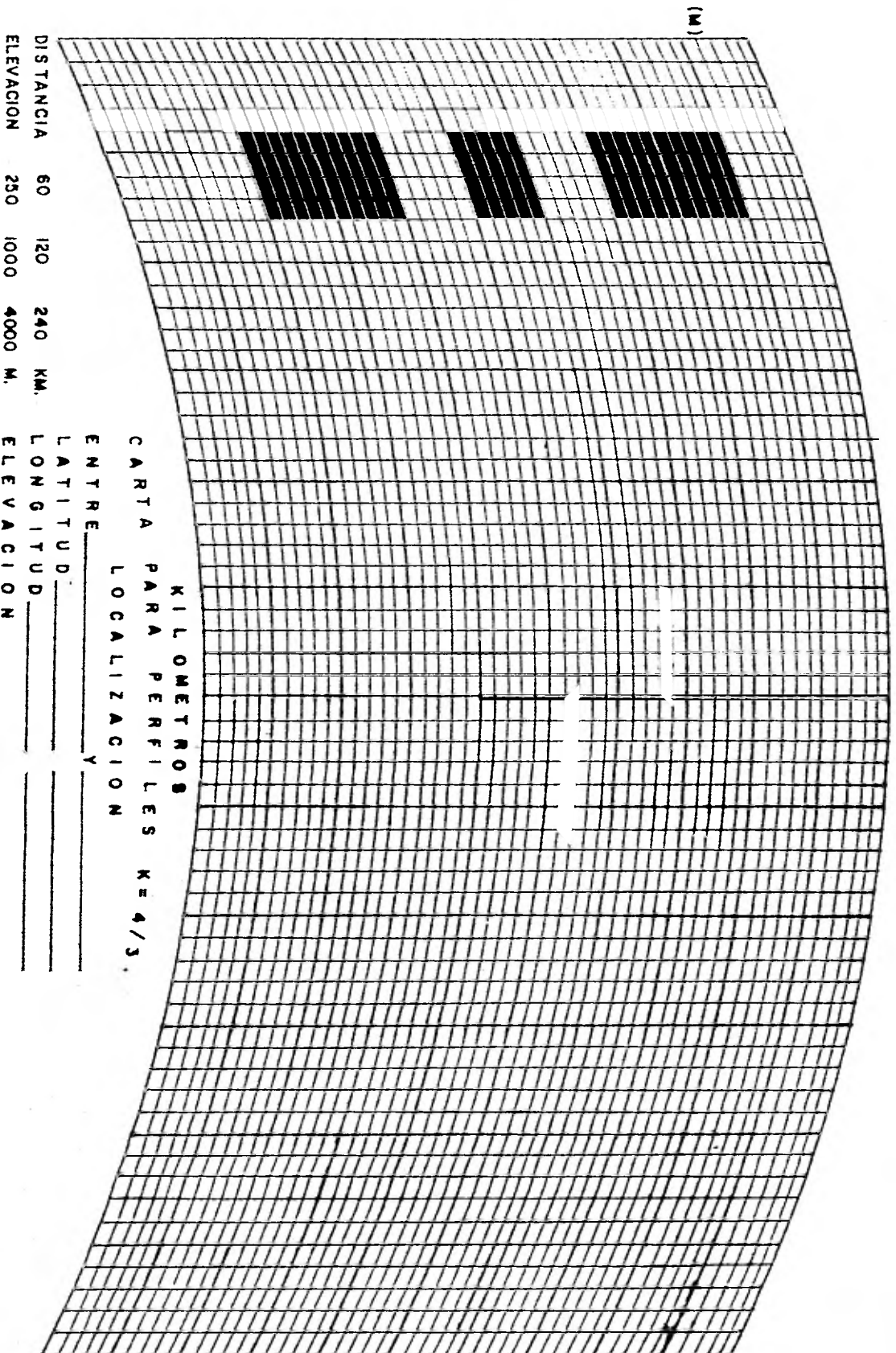


FIG. II. 23.- Carta para perfiles .

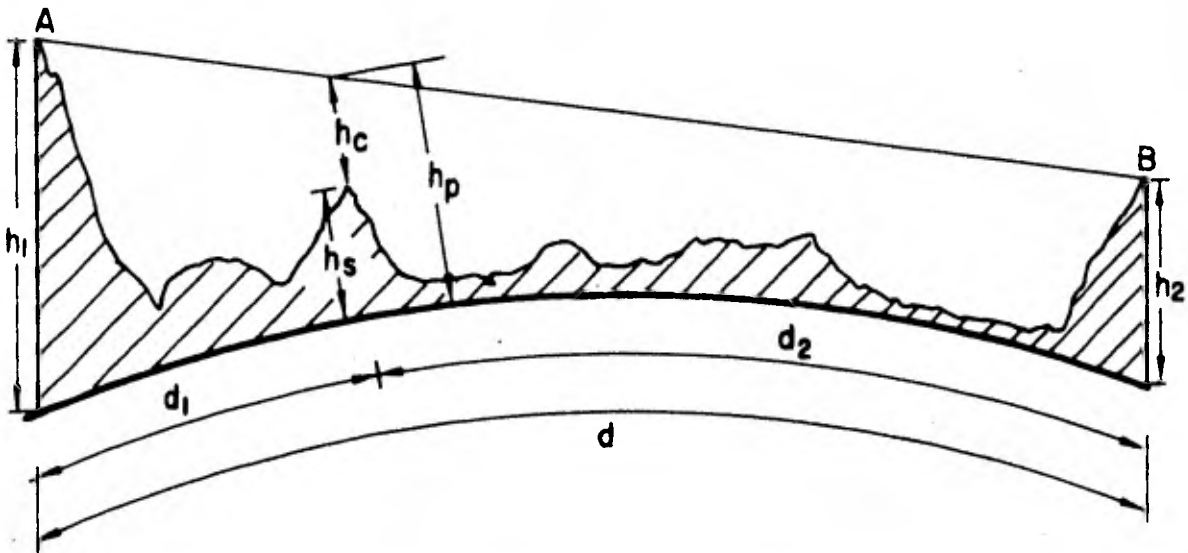


FIG. II.23.BIS- CASO EN QUE INTERVIENE LA PERDIDA DE DIFRACCION  $L_d$ .

conocer la influencia de la estructura de la superficie terrestre sobre la cual va a operar el enlace.

Esto se logra efectuando un corte transversal de la tierra desde el punto de transmisión al punto de recepción y a esta figura se le llama PERFIL DE TRAYECTORIA (Figura II.23).

El perfil no se elabora con el radio real de la tierra, sino tomando el radio equivalente de la tierra,  $K$ , con el fin de cambiar la trayectoria curva de propagación del haz por una línea recta; de esta manera el eje horizontal representa la superficie curva de la tierra, mientras que el eje vertical representa la altura.

Los cálculos de una trayectoria deben hacerse considerando algunos criterios, por ejemplo: el criterio para línea de vista puede ser:

- 1.-  $0.6 Z_1$ , ó sea, el 60% de la 1a. zona de Fresnel
- 2.-  $K = 1$

## II.17 CRITERIOS SOBRE LINEA DE VISTA

Se ha considerado anteriormente que el factor  $K$  varía dentro de ciertos límites: desde  $K = \infty$  (condición de tierra plana) hasta la condición de refracción subestandar, con un valor de  $K = 2/3$ , pasando por el valor de condiciones normales.

Se han establecido ciertos valores de  $K$  para determinadas condiciones de propagación; los cuales a continuación se exponen en la Tabla II.6.



K

CONDICIONES DE PROPAGACION  
O TIPOS DE TRAYECTORIAS.

2/3 A 5/2

TRAYECTORIAS ALTAMENTE REFLECTIVAS, TAL  
COMO SUPERFICIES DE AGUA, SUPERFICIES -  
MUY PLANAS Y EN ZONAS DE COSTA QUE SON  
BASTANTE HUMEDAS.

1

TRAYECTORIAS RIGUROSAS, PERO NO MUY DI-  
FICILES.

4/3

TERRENO PROMEDIO.

TABLA II.6.- Relación de K y las Condiciones de Propagación.

## II.18 DESVANECIMIENTOS (CAUSAS QUE LOS ORIGINAN)

Las causas básicas que originan los desvanecimientos de las microondas son la tierra y la atmósfera que existe en la tropósfera, por lo cual podemos clasificar los desvanecimientos por sus causas, en tres grupos:

- 1.- Provocados por la atmósfera.
- 2.- Originados por la superficie terrestre
- 3.- Provocados por la atmósfera y la tierra

### II.18.1 DESVANECIMIENTOS PROVOCADOS POR LA ATMOSFERA

Las variaciones que sufre el índice de refracción en la atmósfera afecta en forma significativa a la intensidad del campo electromagnético, generalmente provocan desvanecimientos, los cuales podemos subdividir en:

#### A) DESVANECIMIENTO POR ABSORCION

Algunos fenómenos atmosféricos tales como: lluvia, niebla, nieve, etc. producen un efecto de absorción y dispersión que debilitan la intensidad del campo.

Las ondas que se ven más afectadas son las que tienen una frecuencia mayor que 7 - 8 GHz.

#### B) DESVANECIMIENTO POR UNA BREVE Y PEQUEÑA VARIACION EN EL INDICE DE REFRACCION

Provocado por pequeñas variaciones meteorológicas tales como el movimiento anormal de las capas atmosféricas, los movimientos de grandes masas de aire y la aparición y desvanecimiento de la niebla.

Estos desvanecimientos son originados por la interferencia de una onda principal y muchas ondas débiles que sufren pequeña refracción por los fenómenos anteriores.

Este tipo de desvanecimiento tiene una duración de apenas unos cuantos segundos o menor que un segundo y su amplitud de unos - cuantos decibeles.

Al desvanecimiento de pequeñas variaciones se le conoce también como desvanecimientos cintilantes.

#### C) DESVANECIMIENTOS CAUSADOS POR UN INDICE DE REFRACCION ANORMAL

Se originan cuando la curva M es exageradamente acentuada y los desvanecimientos más representativos son los de tipo ducto. Se originan por la interferencia de muchas ondas provocada por las variaciones de las amplitudes de onda en el transcurso del tiempo. Las variaciones de las interferencias son de gran amplitud y de forma anormal.

#### D) DESVANECIMIENTOS POR LAS TURBULENCIAS

La intensidad de campo de una distancia tan grande que no tiene visibilidad está estructurada por muchas ondas refractadas y reflejadas en una amplia área de la tropósfera y de la atmósfera.

Cuando cada una de estas ondas sufre variaciones, las interferencias originan desvanecimientos de gran profundidad y de ciclos cortos. (de 3 a 5 c/seg. - 10 a 30 c/seg.)

### II.18.2 DESVANECIMIENTOS ORIGINADOS POR LA SUPERFICIE TERRESTRE

Estos son los que se presentan a causa de las variaciones físicas y geométricas de la tierra y se dividen en dos grupos:

- a) Desvanecimientos originados por la superficie terrestre
- b) Desvanecimientos por variación de trayectoria

A) DESVANECIMIENTOS ORIGINADOS POR LA SUPERFICIE TERRESTRE

Si varían la permitividad, conductividad y grado de aspereza de la superficie terrestre, varían el coeficiente de reflexión equivalente y el grado de sombra de una superficie esférica, - lo cual provoca los desvanecimientos.

B) DESVANECIMIENTOS POR VARIACION DE TRAYECTORIAS

Este tipo de desvanecimiento es provocado por ejemplo, cuando la superficie de reflexión es el mar, por el cambio de altura de éste debido a las variaciones de la marea (alta y baja) y que ocasiona cambios en la intensidad de campo.

### II.18.3 DESVANECIMIENTOS PROVOCADOS POR LA ATMOSFERA Y LA TIERRA

Estos desvanecimientos se presentan cuando cerca de la trayectoria de propagación existen superficies de reflexión o colinas - que produzcan pérdidas de difracción y estas se ven aumentadas por las variaciones atmosféricas, los desvanecimientos son más complicados y se dice que son de tipo combinado.

A) DESVANECIMIENTOS A CAUSA DE LA INTERFERENCIA TIPO K

Cuando en una trayectoria de propagación con reflexión en la -- tierra, se suma una variación en la tendencia de la curva, M de la atmósfera por cambios de los elementos atmosféricos, la diferencia de las trayectorias de ondas directas y reflejadas varía a su vez y por lo tanto, la intensidad de campo también.

En las trayectorias de microondas, aún una pequeña diferencia de trayectorias provoca una amplia variación de fases, por lo que en trayectorias con interferencia a causa de las ondas reflejadas se origina siempre este tipo de desvanecimiento.

Cuando el coeficiente de reflexión equivalente de la superficie de reflexión es  $\rho_e$ , la amplitud del patrón de altura se expresa de la siguiente forma:

$$P_a = 20 \text{ Log} \left( \frac{1 + \rho_e}{1 - \rho_e} \right) \quad (\text{dB}) \quad \text{II. (101)}$$

Cuando por la variación de los elementos atmosféricos el patrón de altura se recorre más de la mitad del paso, la intensidad de campo del receptor varía dentro de los límites de la expresión (101), y se producen los desvanecimientos tipo K.

#### B) DESVANECIMIENTOS (TIPO M) A CAUSA DE LA INTERFERENCIA TIPO M.

Cuando una trayectoria con interferencia originada por la aparición de un ducto con interferencia de muchas ondas, se le suma la interferencia producida por la reflexión repetida de las ondas que se propagan entre la tierra y el ducto, la propagación se vuelve muy complicada y dá origen a los desvanecimientos tipo M, con variación de la intensidad de campo.

#### C) DESVANECIMIENTOS POR DIFRACCION TIPO K.

Si una trayectoria con pérdidas de difracción provocada por la existencia de un obstáculo se ve aumentada, en su trayecto, por una variación de la atmósfera (varía K), la pérdida de difracción varía también y se producen los desvanecimientos.

Matemáticamente, se muestra de la siguiente manera:

$$\text{si en la expresión} \quad h_c = h_1 - \frac{d_1}{d} (h_1 - h_2) - \frac{d_1 d_2}{2Ka} - h_s$$

varía el valor de K, por consiguiente variará el valor de  $h_c$  y también el valor de  $L_d$  (Pérdidas por difracción).

D) DESVANECIMIENTOS POR DIFRACCION TIPO M.

Aún cuando K salga de los límites normales, no siempre la curva se convierte en tipo ducto; sin embargo, en este tipo de -propagación cuando K sobrepasa los límites, la intensidad de campo es más inestable que cuando la propagación es normal.

II.19 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS FENOMENOS DE LOS DESVANECIMIENTOS DE MICROONDAS EN LAS TRAYECTORIAS DE PROPAGACION CON VISIBILIDAD.

1. En las trayectorias de propagación por microondas, bajo condiciones normales de propagación, no exist--ten los desvanecimientos, o bien, existen en grado ínfimo y solo se originan en casos especiales.
2. En general, la variación de los desvanecimientos en días despejados es mayor que la de los días de mal tiempo.
3. Si las condiciones terrestres son normales, las variaciones de los desvanecimientos son mayores durante la noche que durante el día. Los grandes desvanecimientos se originan, con mayor frecuencia, a medianoche o en la madrugada.
4. La diferencia del valor de la mediana, entre el día y la noche, y en cada una de las estaciones, no es muy grande.

Cuando las variaciones son de gran amplitud, las medianas de las variaciones, registradas hora tras hora también sufren variación. Sin embargo, si tomamos medi

dianas día por día, notamos que la diferencia es menor en unos dB.

5. En general, en las trayectorias montañosas, la propagación es más estable que la de las trayectorias en campos planos, en superficies acuáticas y en las costas.
6. En las trayectorias con interferencia, y con elevado coeficiente de reflexión equivalente, la propagación es generalmente inestable, debido a descensos grandes del patrón de altura y los desvanecimientos originados por la atmósfera.
7. A mayor longitud de la trayectoria de propagación aumenta, tanto el número de desvanecimientos, como su amplitud.
8. Conforme disminuye la altura de la trayectoria hacia la superficie de la tierra, los desvanecimientos se vuelven mayores.
9. Exceptuando los desvanecimientos por absorción, al aumentar la frecuencia, aumentan los desvanecimientos de ciclos rápidos o cortos y disminuyen los de ciclos largos.
10. El tipo de distribución estadística de las variaciones de los desvanecimientos difiere mucho de un día a otro. Sin embargo, la distribución estadística de las variaciones, tomadas durante mucho tiempo, conforme el lapso es mayor, se asemeja cada vez más a la distribución normal en dB.

11. Los desvanecimientos de una trayectoria de propagación en el espacio libre o de una terrestre, observados durante largo tiempo, siguen la distribución normal en dB. Los desvanecimientos de trayectorias con interferencias y de trayectorias en el espacio libre, pero a baja altura y los desvanecimientos de ciclos cortos se asemejan a la distribución  $\gamma$  (gamma).

## .20 CALCULO DE LA PERDIDA DE TRANSMISION.

Las pérdidas de transmisión  $P_s$  son aquellas que involucran todos los componentes de un sistema.

La pérdida de transmisión se calcula usando la expresión siguiente:

$$P_s = \left( \frac{L_1 \times L_2}{G_1 \times G_2} \right) (L) (X)$$

en donde:

$L_1, L_2$  = Pérdida de la guía de onda para la transmisión recepción.

$G_1, G_2$  = Ganancias de las antenas transmisora y receptora

$L$  = Pérdida de propagación

$X$  = Efecto de las antenas

Sin embargo, cuando la influencia de la tierra y el efecto de la antena son casi nulos, el valor de  $P_s$  se expresará en la siguiente manera, en dB.

$$P_s \text{ (dB)} = L_1 \text{ (dB)} + L_2 \text{ (dB)} + L_0 \text{ (dB)} - G_1 \text{ (dB)} - G_2 \text{ (dB)}. (102)$$

## 21 CALCULO DE LA DISTANCIA DE LA TRAYECTORIA DE PROPAGACION

La distancia entre dos puntos puede obtenerse de las cartas de perfiles de trayectoria directamente, siempre y cuando estén a -



escala, pero existe una pequeña diferencia entre el valor calculado de esta manera y el valor absoluto de la trayectoria - real; sin embargo, cuando se trata de distancias pequeñas, el error que se comete en el cálculo de la pérdida de propagación es casi nulo.

Cuando se trata de trayectorias sin visibilidad, es decir, con gran distancia entre los dos puntos, el cálculo de - ésta, efectuado por medio de las cartas topográficas, es in-- exacto y por tanto no recomendable, por tal motivo es neces-- ario usar una fórmula matemática, con la cual obtendremos re-- sultados satisfactorios en todos los casos.

En la Figura II.24 consideramos un semicírculo, en cu-- yos planos se encuentran los puntos A, B y el punto eje O, pa-- ra calcular el ángulo formado por los puntos mencionados.

### II.21.1 METODO DE CALCULO DEL ANGULO AOB.

De acuerdo con la Figura II.24 supongamos lo siguiente:

$a_1$  = Longitud de A

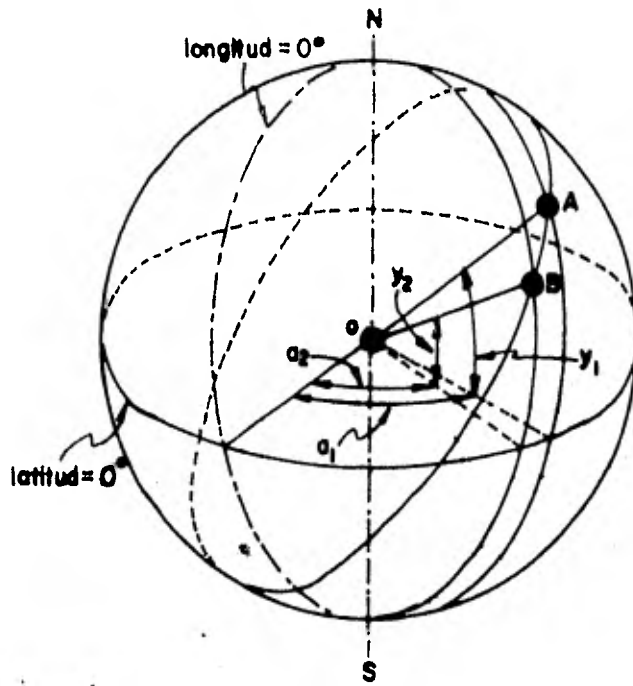
$Y_1$  = Latitud de A

$a_2$  = Longitud de B

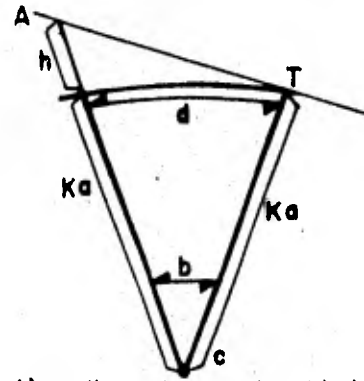
$Y_2$  = Latitud de B

Con estos datos ya podemos calcular el ángulo AOB, usan-- do la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \cos \angle AOB &= \cos \left( \frac{\pi}{2} - Y_1 \right) \cos \left( \frac{\pi}{2} - Y_2 \right) + \dots \\ &+ \sin \left( \frac{\pi}{2} - Y_1 \right) \sin \left( \frac{\pi}{2} - Y_2 \right) \cos (a_1 - a_2) \\ &= \sin Y_1 \sin Y_2 + \cos Y_1 \cos Y_2 \cos (a_1 - a_2) \\ &\dots \text{ II. (103)} \end{aligned}$$



a) - distancia entre dos puntos



b) - distancia con visibilidad

FIG.-II.24- DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS.

### II.21.2. METODO DE CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE A Y B.

Si consideramos a la tierra como una esfera con un radio de 6,370 Km., entonces la distancia entre los puntos A y B se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\overline{AB} &= \frac{2\pi a}{360} \cdot \sphericalangle AOB = \frac{3.1416 \cdot 6370}{180} \cdot \sphericalangle AOB \\ &= 111.176 \text{ Km.} \cdot \sphericalangle AOB\end{aligned}\quad \text{II. (104)}$$

### II.22. METODO PARA CALCULAR EL PUNTO DE REFLEXION.

a) EN UNA SUPERFICIE PLANA:

Cuando las condiciones de propagación se asemejan a las condiciones que aparecen en la Figura II.25, entonces la posición del punto de reflexión se puede calcular por medio de las siguientes ecuaciones:

$$d_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} d \quad \text{II. (105)}$$

$$d_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} d \quad \text{II. (106)}$$

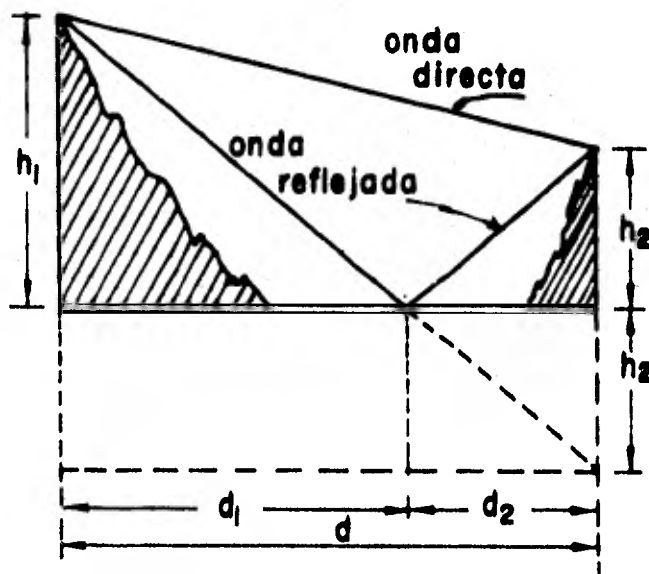


FIG. II. 25- Reflexión en una superficie plana

b) EN UNA SUPERFICIE ESFERICA:

Cuando hay una distancia de propagación mayor que 10 ó 15 Km. ya no se puede ignorar la curvatura de la tierra; consecuentemente, las trayectorias de propagación con reflexión en superficies esféricas son las que comunmente se manejan.

El cálculo del punto de reflexión es bastante complicado pero de mucha importancia por las razones que a continuación se enumeran:

1. Con base en las condiciones de la superficie del punto de reflexión se calcula el coeficiente de reflexión equivalente.
2. Los obstáculos en la trayectoria de propagación influyen de manera significativa en los cálculos del grado de atenuación de las ondas reflejadas.
3. El ángulo vertical de las ondas reflejadas está relacionado con la atenuación de la directividad de las antenas.

**I.22.1 METODO PARA CALCULAR EL PUNTO DE REFLEXION CUANDO ESTE SE LOCALIZA AL NIVEL DEL MAR.**

En nuestro caso, los puntos a enlazar están al nivel del mar, - por lo que es necesario determinar los puntos de reflexión en dicho nivel.

La figura II.26 nos muestra el perfil de una superficie esférica Lisa, de una distancia con visibilidad. La posición del punto de reflexión se puede obtener con las siguientes ecuaciones:

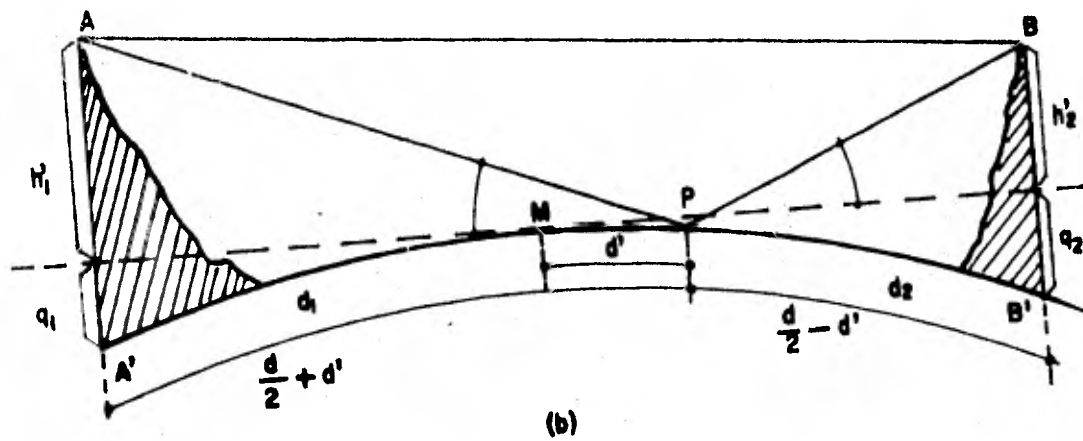
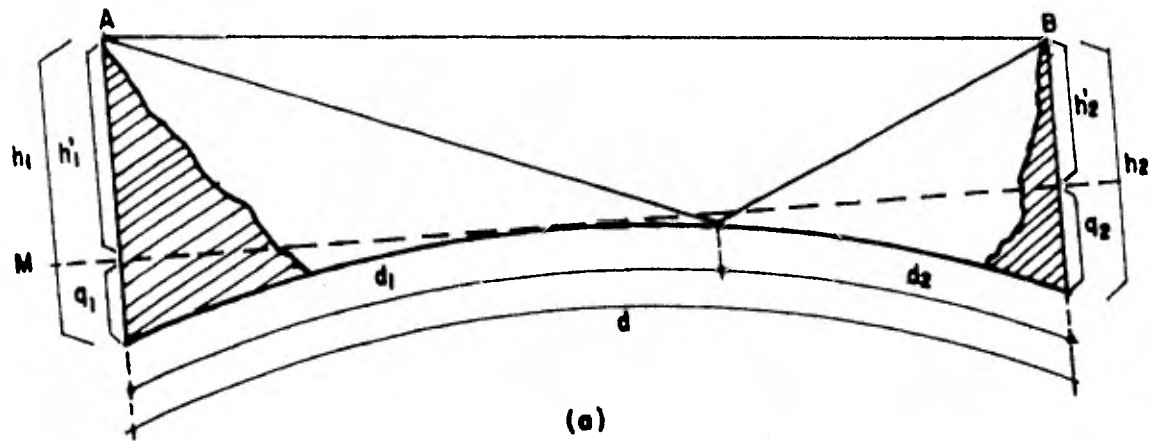


FIG-**II.26**- REFLEXION EN UNA SUPERFICIE ESFERICA LISA.

$$d_1 = \frac{h'_1}{h'_1 + h'_2} d \quad \text{y} \quad \text{II. (107)}$$

$$d_2 = \frac{h_2}{h'_1 + h'_2} d \quad \text{II. (108)}$$

Cuando corresponden a una superficie esférica, en donde:

$$h'_1 = h_1 - q_1 \quad \text{II. (109)}$$

$$h'_2 = h_2 - q_2 \quad \text{II. (110)}$$

Aquí,  $h'_1$  y  $h'_2$  corresponden a la parte de la altitud de las antenas A y B respectivamente, sobre la línea tangente M y se les denomina ALTURA EQUIVALENTE DE ANTENA;  $q_1$  y  $q_2$  son las alturas que corresponden a una distancia con visibilidad  $d_1$  y  $d_2$ , respectivamente.

De las siguientes expresiones:

$$d_1 = \sqrt{2Ka q_1} \quad \text{II. (111)}$$

$$d_2 = \sqrt{2Ka q_2} \quad \text{II. (112)}$$

Podemos deducir que:

$$q_1 = \frac{d_1^2}{2Ka} \quad \text{II. (113)}$$

$$q_2 = \frac{d_2^2}{2Ka} \quad \text{II. (114)}$$

y por tanto:

$$h'_1 = h_1 - q_1 = h_1 - \frac{d_1^2}{2Ka} \quad \text{II. (115)}$$

$$h'_2 = h_2 - q_2 = h_2 - \frac{d_2^2}{2Ka} \quad \text{II. (116)}$$

En estas expresiones puede verse que la posición del punto de reflexión es una función del radio equivalente terrestre K, de la distancia de propagación  $d$  y de las alturas de las antenas de transmisión y recepción  $h_1$  y  $h_2$ .

En la figura II.26, el punto medio de la curva A B, es M y la -  
curva  $\widehat{MP} = d'$ , por consiguiente:

$$d_1 = \frac{d}{2} + d' \quad \text{II. (117)}$$

$$d_2 = \frac{d}{2} - d' \quad \text{II. (118)}$$

o expresado de otra manera:

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + b) \quad \text{II. (119)}$$

$$d_2 = \frac{d}{2} (1 - b) \quad \text{II. (120)}$$

donde:

$$b = 2 + \frac{d'}{d} \quad \text{II. (121)}$$

y  $h_1, h_2$  se calculan con el siguiente procedimiento:

$$h_1 = \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right) (1 + c) \quad \text{II. (122)}$$

$$h_2 = \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right) (1 - c) \quad \text{II. (123)}$$

en donde:

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad \text{II. (124)}$$

donde  $m, b$  y  $c$  son parámetros adimensionales.

Suponiendo que una antena está mas alta que la otra, es decir:

$h_1 > h_2$  ó sea  $d_1 > d_2$ ,  $c$  será mayor que cero ( $c > 0$ ). y el  
ángulo  $\psi$  es pequeño, por tanto:

$$\psi = \frac{h'_1}{d_1} = \frac{h'_2}{d_2} \quad \text{II. (125)}$$

Si en esta expresión sustituimos el valor de  $h'_1$  y  $h'_2$  por las ex-  
presiones (115) y (116) queda:

$$\frac{h_1}{d_1} - \frac{d_1}{2Ka} = \frac{h_2}{d_2} - \frac{d_2}{2Ka} \quad \text{II. (126)}$$

y si sustituimos las expresiones (119), (120), (122) y (123), por  $d_1$ ,  $d_2$  y  $h_1$ ,  $h_2$ , respectivamente llegamos a:

$$\begin{aligned} & \frac{h_1 + h_2}{d} \left( \frac{1 + c}{1 + b} \right) - \frac{d(1+b)}{4Ka} = \\ & = \frac{h_1 + h_2}{d} \left( \frac{1 - c}{1 - b} \right) - \frac{d(1+b)}{4Ka} \end{aligned} \quad \text{II. (127)}$$

si de aquí deducimos  $c$ , nos queda:

$$c = b + b \frac{d^2}{4Ka(h_1+h_2)} (1 - b^2) \quad \text{II. (128)}$$

suponemos que:

$$m = \frac{d^2}{4Ka(h_1+h_2)} \quad \text{II. (129)}$$

entonces finalmente:

$$c = b + mb(1 - b^2) \quad \text{II. (130)}$$

En una gráfica, los valores de  $c$  serán los ejes verticales y los de  $m$ , serán los ejes horizontales en las diferentes posiciones de  $b$ , como puede verse en la Figura II.27, tanto  $m$  como  $c$  son variables dependientes de  $h_1$ ,  $h_2$  y  $d$ , por tanto es posible calcular  $b$  directamente de la gráfica y asimismo determinar la posición del punto de reflexión:

$$d_1 = \frac{d(b+1)}{2} \quad \text{II. (131)} \quad \text{posición del punto de reflexión.}$$

$$d_2 = d - d_1 \quad \text{II. (132)}$$

### 1.23. METODO PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE REFLEXION EQUIVALENTE Y EL DE REFLEXION REAL.

#### A) COEFICIENTE DE REFLEXION EQUIVALENTE

En una trayectoria de propagación de microondas se localizan  $d_i$



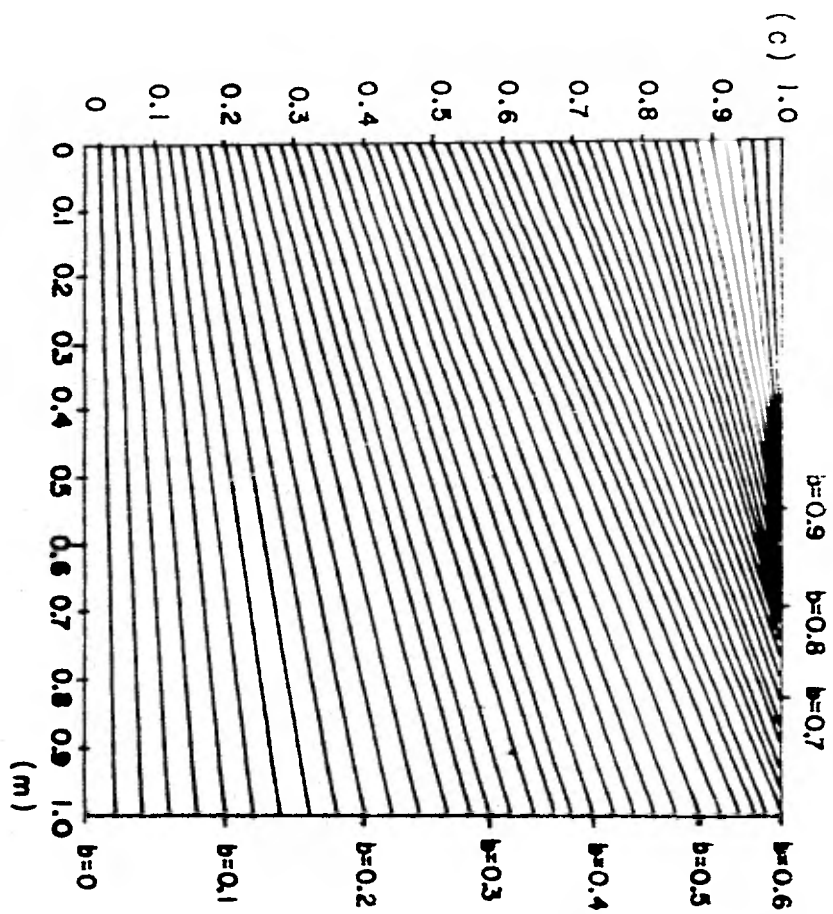


FIG.-II. 27.- POSICIONES DE  $b$

ferentes tipos de terreno variando por consiguiente el coeficiente de reflexión, debido a esto se ha introducido el término coeficiente de reflexión equivalente.

El coeficiente de reflexión se calcula tomando en cuenta la superficie de reflexión; la superficie de reflexión corresponde al área formada por la intersección de la elipsoide de la 1ª zona de Fresnel de la onda incidente con la elipsoide de la 1ª zona de Fresnel de la onda reflejada como se muestra en la Figura II.28. En la práctica, el coeficiente de reflexión equivalente se debe calcular tomando en consideración los diferentes tipos de superficie comprendidos dentro del área de reflexión; es decir, lago, pantano, montaña, etc., por lo que el valor total del coeficiente de reflexión equivalente será igual a la suma de los coeficientes de las áreas parciales.

$$C_{\text{de R. equiv.}} = C_{\text{de R. equiv.1}} + C_{\text{de R. equiv.2}} + \dots + C_{\text{de R. equiv.n}}$$

## B) COEFICIENTE DE REFLEXION REAL.

El coeficiente de reflexión real  $\rho_e$  puede calcularse con la siguiente expresión, en la utilización práctica de las microondas.

$$\rho_e = (C_{\text{de R. equiv.}}) (\text{Coef. de Difracción de la onda - reflejada debido a los obstáculos}) (\text{Factor de reducción de la onda reflejada debido a la directividad de las antenas de transmisión y recepción})$$

y ésta misma expresión, pero ahora expresada en dB:

$$20 \text{ Log } \rho_e = -(\text{Pérdida de reflexión de la onda reflejada en la superficie de reflexión})\text{dB} + (\text{Pérdida de difracción de la onda reflejada en los obstáculos})\text{dB} + (\text{Pérdida de la onda reflejada debida a la directividad de las antenas de transmisión y recepción})\text{dB}.$$

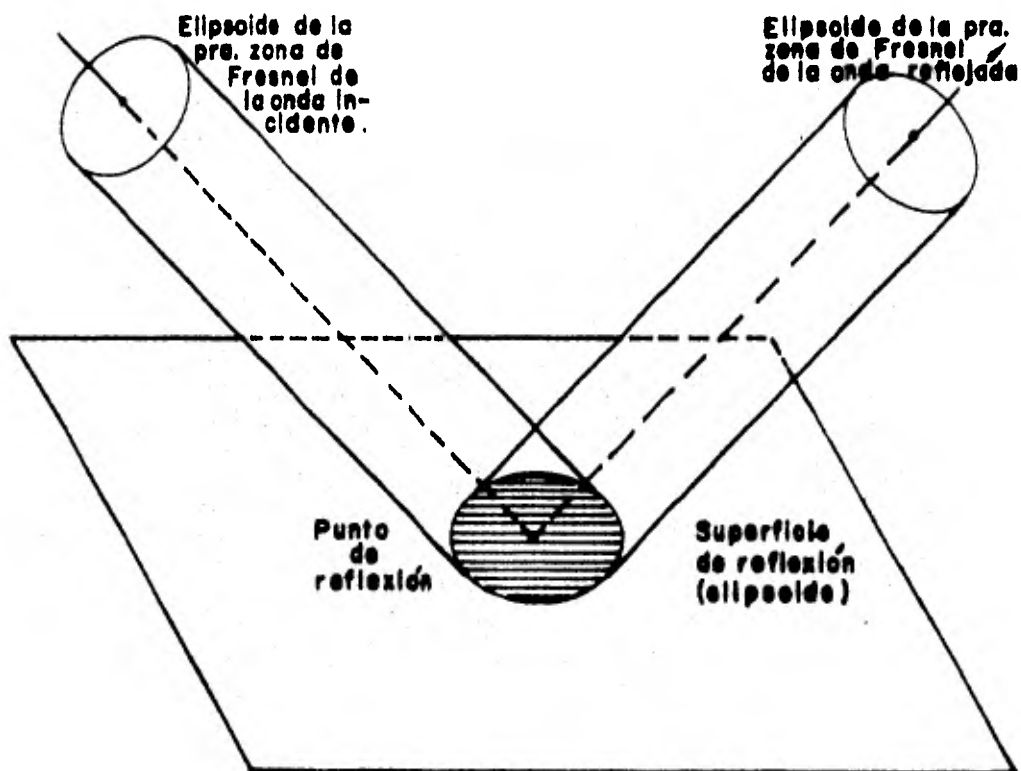


FIG. II.28.- SUPERFICIE DE REFLEXION

## II.24. RUIDO.

En el diseño de los enlaces de microondas, el ruido -- constituye un factor importante.

Para comprender sistemáticamente los ruidos que sirven de criterios en la evaluación de la calidad de un enlace de comunicación, es conveniente clasificarlos de la manera siguiente:

1. Ruidos Térmicos
2. Ruidos de Intermodulación
3. Ruidos de Interferencia.

### II.24.1. RUIDO TERMICO.

Son los que se generan por el movimiento de los electrones en un elemento resistivo, y son ineludibles en circuitos de comunicación.

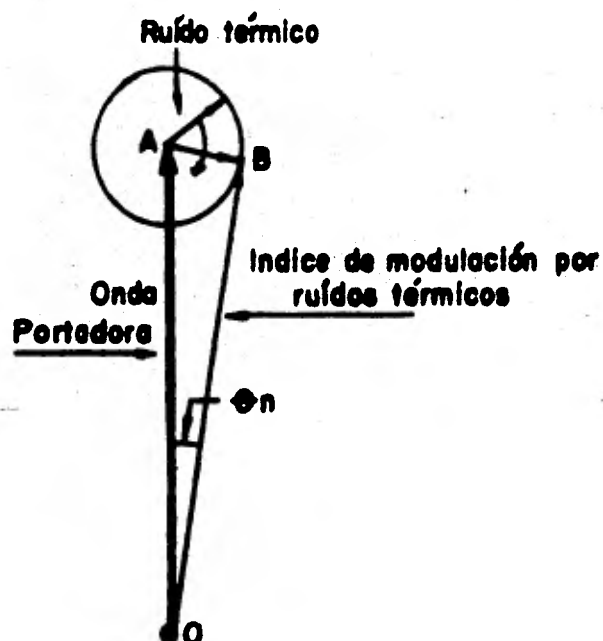



FIG. II.29.- VECTOR DE RUIDO TERMICO.

De la figura anterior se desprende que el vector de ruido térmico está girando a una velocidad que es proporcional a la diferencia entre la frecuencia de recepción y la de ruido siempre que quede constante la potencia de entrada en la recepción, y esta potencia está modulada en fase por el ruido térmico.

Dada la relación:

Vector de potencia de entrada en recepción  vector del ruido térmico

el factor de modulación de fase  $\theta_n$  se calcula como sigue:

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{AB}{OA} \approx \frac{AB}{OA} \quad \text{II. (133)}$$

De aquí resulta que el ruido térmico aumenta aproximadamente en proporción inversa a la potencia de entrada al receptor en el caso de recepción por modulación de fase. En este caso, al aumentar la frecuencia aumenta el ruido.

La relación señal-a-ruido por cada canal está dada por la expresión siguiente:

$$S/N = 10 \text{ Log } \frac{FKTBL}{PG_t G_r} \frac{f_p^2}{S^2} \quad \text{II. (134)}$$

donde:

$f_p$  = frecuencia del canal en cuestión

$B$  = banda de frecuencias del canal

$S$  = desviación de frecuencia por el nivel del tono de prueba.

$K$  = constante de Boltzmann =  $1.37 \times 10^{-23}$  (Joule/°K)

$F$  = figura de ruido

- T = temperatura absoluta en °K.  
 L = pérdida de propagación  
 $G_t$  = ganancia de la antena transmisora  
 $G_r$  = ganancia de la antena receptora  
 P = potencia de transmisión

El método más avanzado para la evaluación de ruidos térmicos por desvanecimiento es el estimarla con base en la probabilidad de ocurrencia simultánea en varios trayectos del desvanecimiento Rayleigh. La probabilidad de dicho desvanecimiento Rayleigh puede calcularse empíricamente, usando la fórmula siguiente:

$$10 \text{ Log}_{10} P = 1.75 \text{ Log}_{10} \left( \frac{f}{4} \right) + Q + 3.5 \text{ Log}_{10} D \quad \text{II. (135)}$$

donde:

- P = probabilidad de ocurrencia del desvanecimiento -- Rayleigh en el peor mes (%)  
 Q = constante según el trayecto de propagación:  
     sobre el mar:       -5.73  
     en un llano:       -6.29  
     en montañas:       -6.69  
 D = distancia (Km)  
 f = frecuencia en MHz.

## II.24.2. RUIDOS DE INTERMODULACION.

Este tipo de ruido es una acumulación de ondas acopladas por distorsión, y se forma cuando la señal pasa por cualquier alinealidad, ya sea de fase o de amplitud. Está presente solo cuando el sistema está siendo modulado o sea, se incrementa con la señal modulante.

### II.24.3. RUIDOS DE INTERFERENCIA.

Los radioenlaces de microondas obedecen normalmente al sistema de dos frecuencias. Por consiguiente la transmisión se hace a dos frecuencias iguales en ambos sentidos, y asimismo la recepción a dos frecuencias iguales de ambos sentidos. Ver Figura II.30.

Las interferencias se clasifican como sigue:

1. Entre canales de una misma frecuencia:
  - a) Sobrealcance
  - b) Acoplamiento frente-espalda de las antenas de transmisión.
  - c) Acoplamiento frente-espalda de las antenas de recepción.
  - d) Acoplamiento de frecuencias intermedias dentro de las estaciones repetidoras.
  
2. Entre canales de distintas frecuencias:
  - a) Acoplamiento lado a lado de las antenas.
  - b) Acoplamiento espalda a espalda de las antenas.
  - c) Acoplamiento frente a lado de las antenas de recepción.
  - d) Acoplamiento frente a lado de las antenas de transmisión.

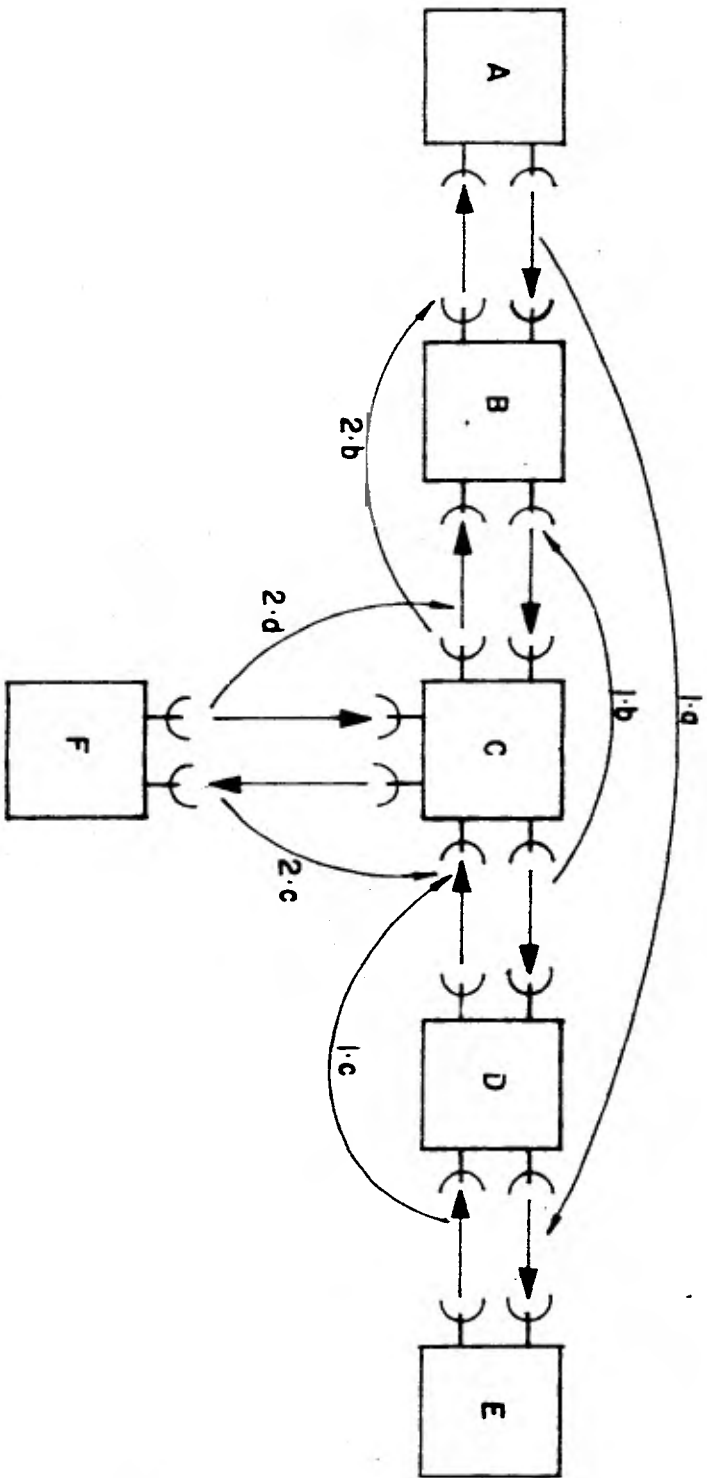


FIG. II.30.— RUIDOS DE INTERFERENCIA .



C A P I T U L O   I I I .

### III. TRANSMISION ATMOSFERICA.

En este capítulo demostraremos que no es posible establecer un enlace de microondas, en el caso que nos ocupa, usando el sistema de Línea de Vista, el cual es ampliamente usado por Petróleos Mexicanos en la mayoría de sus instalaciones, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo y ancho del país, ni por cualquier otro medio que no sea por dispersión troposférica o por vía satélite, éste último no lo consideraremos en este trabajo porque hasta la fecha México no tiene disponible el satélite.

Los sistemas de transmisión que consideraremos son:

1. Línea de Vista.
2. Sistemas Transhorizonte:
  - a). Propagación por Dispersión Troposférica.
  - b). Propagación por Difracción.
  - c). Propagación Ionosférica.

#### III.1. SISTEMA DE LINEA DE VISTA.

Como ya se mencionó anteriormente, este es el sistema más usado en el país, por lo cual haremos los cálculos necesarios para demostrar que no resulta práctico emplearlo en los puntos propuestos a enlazar.

### III.1.1. CALCULO DE LA ALTURA CON LA QUE SE OBTIENE CONTACTO VISUAL.

Para calcular la altura de torre a la cual deben colocarse las antenas transmisora y receptora, emplearemos la fórmula siguiente:

$$h = \frac{d_{1,2}^2}{2Ka} \quad \text{III.(1)}$$

donde:

- h = altura de las antenas con la que se obtendrá - el contacto visual, en metros.
- $d_{1,2}$  = distancia al horizonte desde la antena transmisora o receptora, en Kilómetros.
- K = Factor de radio equivalente terrestre, en nuestro caso siempre será de 4/3.
- a = radio terrestre = 6,370 Km.

La distancia total de cada trayectoria fue calculada usando el Método de la Nota Técnica 101 del N.B.S.

Cd. Pemex	- Cd. del Carmen	108.222 Km.
Cd. del Carmen	- Nohoch "A"	82.847 Km.
Nohoch "A"	- Cayo Arcas	93.261 Km.

Estas mismas distancias pueden verse en el Apéndice - No. 1 (listado del Programa).

En la Tabla III.1 pueden verse los resultados de los cálculos, y como se observa, estos valores para la altura de las torres a la cual deben colocarse las antenas ya se encuentra algo excedida, y además con esta altura únicamente

$$E N L A C E \quad h = \frac{d^2}{2 K a} \times 1000 \quad \text{ALTURA DE ANTENA CON CONTACTO VISUAL ( m )}$$

$$CIUDAD PEMEX - CIUDAD DEL CARMEN = \frac{(54.111)^2}{2(4/3)(6370)} \times 1000 = 172$$

$$CIUDAD DEL CARMEN - NOHOCH "A" = \frac{(41.4235)^2}{16986.667} \times 1000 = 101$$

$$NOHOCH "A" - CAYO ARCAS = \frac{(46.6305)^2}{16986.667} \times 1000 = 128$$

TABLA III.1.  
**CALCULO DE LA ALTURA DE ANTENA CON CONTACTO VISUAL.**

tendríamos la distancia de contacto visual ( $d_1$  y  $d_2$ ) pero no es suficiente, ya que es requisito indispensable que el haz de microondas tenga libre de obstáculos al menos el 60% del Radio de la primera Zona de Fresnel, el cual calcularemos a continuación.

### III.1.2. CALCULO DEL 60% DEL RADIO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL.

La fórmula que se empleará es la siguiente:

$$FR_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{F D}} \quad \text{III.(2)}$$

donde:

- $d_1$  = Distancia en Km. desde el transmisor al horizonte.
- $d_2$  = Distancia en Km. desde el receptor al horizonte (ver Figura III.1)
- F = Frecuencia en GHz. (Usaremos 8 GHz porque está dentro de las bandas usadas actualmente en Petróleos Mexicanos para la línea de vista).
- D = Distancia Total del enlace en Km.
- $FR_1$  = Radio de la primera zona de Fresnel en m.

La fórmula anterior fue obtenida del "Engineering Considerations for Microwave Systems" de Lenkurt.

En la tabla III.2 pueden verse los resultados de los cálculos. El siguiente paso es sumar estos valores a los obtenidos para la altura de antena con contacto visual, lo cual puede verse en la Tabla III.3, donde observamos que la altura de torres a la cual tendrían que colocarse las ante-

$$E N L A C E \quad F R_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{F D}} \quad 60 \% F R_1 \quad ( m )$$

$$C D . P E M T X - C D . D I I , C A R M E N \quad = 17.3 \sqrt{\frac{(54.111)(54.111)}{8 (108.222)}} \quad 19.08$$

$$C D . D I I , C A R M E N - N O H O C H " A " \quad = 17.3 \sqrt{\frac{(41.4235)(41.4235)}{8 (82.847)}} \quad 16.70$$

$$N O H O C H " A " - C A Y O A R C A S \quad = 17.3 \sqrt{\frac{(46.63)(46.63)}{8 (93.261)}} \quad 17.72$$

TABLA III.2.

CALCULO DEL 60% DE LA PRIMERA ZONA DE  
FRESNEL.

E N L A C E	ALTURA DE ANTENA CON CONTACTO VI- SUAL ( m ).	60 % F R <sub>1</sub> ( m )	ALTURA TOTAL ( m )
CD. PEMEX - CD. DEL CARMEN	172.00	19.08	191.08
CD. DEL CARMEN - NOHOCH "A"	101.00	16.70	117.70
NOHOCH "A" - CAYO ARCAS	121.00	17.72	145.72

TABLA TTT.3.

ALTURA TOTAL DE LA ANTENA.

nas para cada enlace, excede las dimensiones normales permisibles. Por tanto, basados únicamente en este concepto, concluimos que el sistema de línea de vista no es el apropiado para establecer un enlace de punto a punto en la Son da de Campeche. En la Figura III.1 se ilustra este caso.

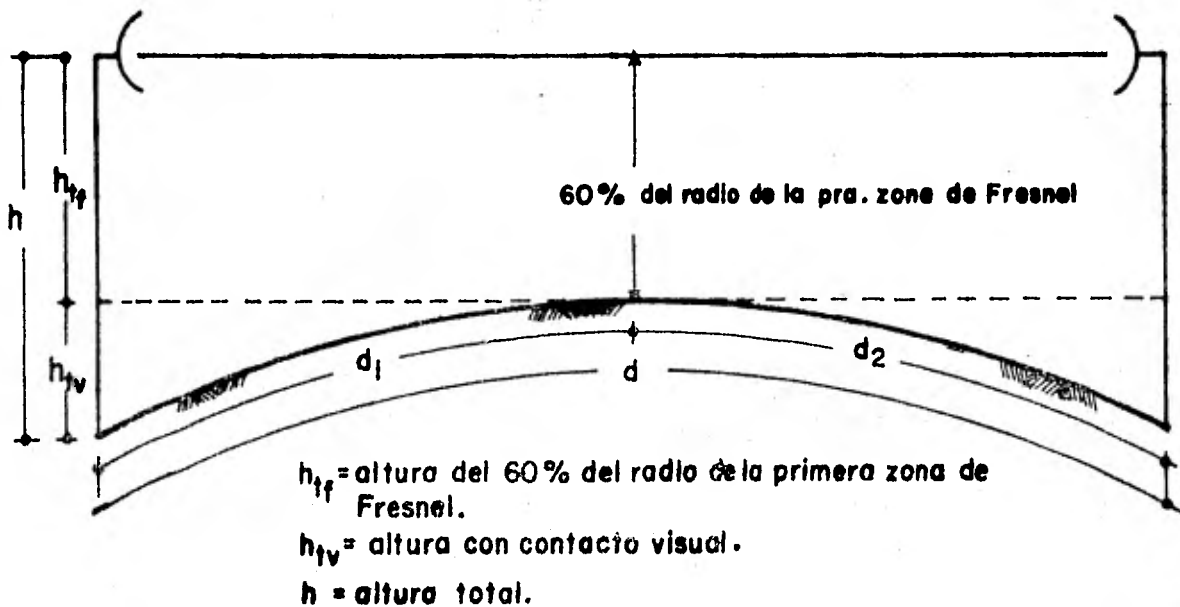


FIG. III.1.— CALCULO DE LA ALTURA DE ANTENA PARA LINEA DE VISTA.



### III.2. TRANSMISION MAS ALLA DEL HORIZONTE,

El proyecto que nos ocupa, como vimos anteriormente, tiene trayectorias con distancias más allá del horizonte, por tanto es conveniente encontrar una forma de comunicación confiable. Por consiguiente, revisando la información con que contamos, pudimos encontrar los siguientes tres grupos o mecanismos de propagación más allá del horizonte:

- 1.- Propagación por Dispersión Troposférica.
- 2.- Propagación por Difracción, usando la curvatura de la Tierra.
- 3.- Propagación por Dispersión Ionosférica.

#### III.2.1. PROPAGACION POR DISPERSION TROPOSFERICA.

Dentro de la Tropósfera, como se verá en el Capítulo IV, es posible formar trayectorias de propagación entre dos puntos distantes, sin que se vean afectadas por los elementos geográficos. Las características principales de este mecanismo de propagación son:

- a). Se considera a la Atmósfera como un medio variable.
- b). La dispersión hacia adelante de las ondas permite alcanzar distancias considerables.
- c). No son necesarias antenas de alta directividad.
- d). Se requiere el uso de diversidad, debido a que las ondas llegan a la antena receptora con diferencias de tiempo y de intensidad de campo. La diversidad

de frecuencia requiere de varios transmisores, cada uno con una frecuencia diferente y la diversidad de espacio requiere de varias antenas en una misma torre.

e). Los desvanecimientos se adaptan a la Distribución tipo Rayleigh.

#### FRECUENCIAS RECOMENDADAS.

Las bandas recomendadas por el CCIR (Recomendación 283-2), son:

- 1.- 1700 a 1900 MHz.
- 2.- 1900 a 2100 MHz.
- 3.- 2100 a 2300 MHz.

#### III.2.2. PROPAGACION POR DIFRACCION EN TIERRA ESFERICA.

Este sistema de propagación no es factible en nuestro caso debido principalmente a que la comunicación se llevará a cabo sobre la superficie del mar. Las frecuencias permisibles en este tipo de sistemas no permitirían manejar el número de canales que se requieren, y si se aumenta la frecuencia la superficie del mar se vuelve más reflectiva, produciéndose considerables pérdidas.

### III.2.3. PROPAGACION POR DISPERSION EN LA IONOSFERA.

Es una característica, con la cual es posible obtener enlaces de considerables distancias (de 1000 a 2000 kilómetros), sin embargo no se pueden utilizar frecuencias mayores de 100 MHz, lo cual limita el número de canales que pueden manejarse, además de que la distorsión e inestabilidad hacen difícil la obtención de enlaces de alta calidad.

C A P I T U L O   I V .

#### IV. CONDICIONES GENERALES DE PROPAGACION TROPOSFERICA.

##### RESEÑA HISTORICA.

Aunque las ondas ultra cortas fueron usadas por los primeros ingenieros del campo radioeléctrico, no fue sino hasta la década de los veinte, en este siglo, que su desarrollo prácticamente comenzó.

La técnica de operar con ondas largas, que existía -- desde principios de siglo y siendo mucho más sencillas de generar, las frecuencias abajo de 1 MHz hicieron posible -- alcanzar, comparativamente, grandes distancias debido a la ventaja que poseen de tener poca atenuación. Era un principio aceptado en ese tiempo, que la atenuación era inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia, como -- predijeron las Ecuaciones de Maxwell para el vacío, o para el "espacio libre". En ese tiempo, el fenómeno ionosférico era desconocido. Sin embargo, el inicio a mas altas frecuencias había principiado y tanto amateurs como profesionales experimentaron con frecuencias arriba de 1 MHz.

Los amateurs fueron los primeros en establecer enlaces experimentales de muchos cientos de kilómetros de longitud, cuyo éxito se debió mas a la suerte que al diseño. Los rangos obtenidos parecieron extraordinarios, mientras que los profesionales, los cuales estaban de acuerdo con -- que la atenuación en el espacio libre variaba en razón inversa al cuadrado de la frecuencia, vieron los primeros re

sultados con escepticismo. No obstante, pronto fue acepta da la existencia de una capa reflectora en la Ionósfera, - aunque el fenómeno asociado se manifestaba impredecible, a pesar de que la prueba experimental faltara. En los años que siguieron a la Primera Guerra Mundial, la evidencia - que se requería para establecer su existencia se obtuvo, y la era de las ondas decamétricas se iniciaba. Los prime- ros enlaces transatlánticos comerciales operaron en los - Veintes.

No pasó mucho tiempo antes de que se dieran cuenta de que la Ionósfera reflejaba muy poco a frecuencias superio- res a 30 MHz. El futuro de las ondas ultracortas se veía de esta forma incierto, aunque los mas emprendedores conti- nuaron sus esfuerzos a mayores frecuencias, intentando al- canzar mayores distancias en ondas muy cortas. La limita- ción de la potencia disponible con los bulbos que existían durante los Treintas, así como la limitación en la sensibi- lidad en la primera etapa de los receptores, restringió el progreso en este camino. El incremento tan rápido en la - atenuación a distancias más allá del horizonte, evitó que se lograra el establecimiento de enlaces de comunicación - dependiendo de dicho equipo. Los ingenieros no se sorpren- dieron con este resultado, al contrario, todo se veía cla- ro: la Ionósfera, aún seguía siendo inoperativa, ya que - la propagación estaba gobernada por las leyes aplicadas al espacio libres. De tal suerte que, mientras la frecuencia se incrementaba, las condiciones de propagación se aproxima--

ban más y más a las de las ondas de luz. No fue sorprenden--  
dente, por lo tanto, que el rango práctico de las ondas -  
ultra cortas se limitara alrededor del horizonte geométri-  
co.

Las investigaciones en los 30's eran en consecuencia,  
dirigidas al estudio de la propagación a rangos mayores.

Marconi durante el Verano de 1933, navegando por el -  
Mediterráneo en su yate Electra, estudió la propagación -  
de frecuencias alrededor de los 500 MHz en grandes trayec-  
torias en la costa italiana cerca de Roma. Sin embargo, -  
pasaron más de 10 años antes de que las ideas de Marconi -  
reaparecieran en las investigaciones.

Alrededor de 1935, los técnicos intentaron explicar -  
el incremento tan rápido en la atenuación de las ondas ul-  
tra cortas en regiones más allá del horizonte, dirigiendo  
sus investigaciones al estudio del efecto de la curvatura  
de la Tierra.

Aunque el problema de la difracción en una esfera de  
diámetro mucho mayor que el de la longitud de onda es fá-  
cilmente planteado, la solución es extremadamente difícil.  
Con el fin de que esto se redujera a términos más simples,  
consideraron la Atmósfera como homogénea.

La primer teoría completa sobre la difracción esféri-  
ca en Atmósfera homogénea capaz de tener aplicación prácti-  
ca, fue publicada en 1937 por B. Van der Pol y H. Bremer.

Finalmente, V. Fock encontró en 1945 una solución mu-

cho más elegante al problema, que describió con Leontovitch en 1946.

El tema de la Propagación Troposférica a gran distancia ha sido intensamente estudiado desde dos puntos de vista:

- 1). Como un factor perturbante limitando la cantidad de distribución de frecuencias que puede obtenerse en aplicaciones de relativa corta distancia, - tales como enlace por línea de vista (L.O.S. - Line-of-Sight) y televisión.
- 2). Como un método de establecimiento de enlaces de - comunicación de gran distancia (de muchos cientos de kilómetros) usando grandes potencias y antenas de alta ganancia.

No siendo completamente satisfactoria la teoría, se ha avanzado para explicar la transmisión troposférica de radio más allá del Horizonte, pero es conocido que a distancias más allá de la línea de vista, los llamados campos de dispersión son medidos apreciablemente excedidos del valor calculado, suponiendo atmósfera estándar y usando la teoría de difracción, la cual supone una Tierra esférica lisa y una Atmósfera homogénea.

En los comienzos de la década de los 50's estos persistentes campos de gran distancia llegaron a ser llamados campos de dispersión (scatter fields), y a este modo de propagación: Dispersión Troposférica (Tropospheric Scatter).

Es bien conocido que una señal scatter en un instante



particular parece ser la resultante de un número individual de señales que llegan con diferencias aleatorias de fase. En un período de tiempo, la variación aleatoria de la fase, produce una señal de amplitud variable, la cual en un período de unos cuantos minutos tiene Distribución Rayleigh, pero que por grandes intervalos de tiempo tiende hacia la Distribución Logarítmica (Log Normal).

La componente rápida del desvanecimiento se cree que es causada por transmisión de multitrayectorias, y la lenta por el cambio del índice en las condiciones troposféricas, tales como el cambio del índice de refracción en la Atmósfera. Sin embargo, el nivel instantáneo de la señal, sujeto a la combinación de ambos desvanecimientos (lento y rápido), siempre fluctúa a una razón rápida con el tiempo.

Más adelante se hace una cronología de las Teorías -- que explicaron la propagación troposférica, sin embargo, -- posteriormente se dará una explicación de las teorías que fijan lo más reciente y derivan procedimientos prácticos -- para el diseño de enlaces por dispersión troposférica.

#### **IV.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA TROPOSFERA.**

##### **IV.1.1. LA TROPOSFERA**

La Tropósfera comprende las capas bajas de la Atmósfera, en la cual la temperatura generalmente decrece con la altitud, las nubes se forman y la convección es activa.

Virtualmente, todos los fenómenos meteorológicos ocu-

rren en esta región de la Atmósfera, la cual se extiende desde la tierra hasta una altura que varía de 10 a 16 kilómetros. En la Tropósfera no hay, prácticamente, ionización de las moléculas de aire.

En el límite superior de la Tropósfera hay una zona de transición, la TROPOPAUSA, sobre la cual descansa la Estratósfera, una región donde la temperatura ya no decrece. La Tropopausa varía en altura, tanto con el tiempo como con la Latitud, de unos pocos kilómetros en los Polos a cerca de veinte en el Ecuador.

#### IV.1.2. ATMOSFERA ESTANDAR.

La Tropósfera debe ser considerada como un dieléctrico puro, si las corrientes de conducción son despreciables. Su permeabilidad  $\mu$  relativa al vacío está muy cerca de la unidad para ondas ultra cortas. También el campo magnético de la Tierra tiene un efecto insignificante en estas longitudes de onda. En la Tropósfera el índice de refracción es una función de varias variables meteorológicas, tales como la cantidad de vapor de agua en el aire, la temperatura del aire y la presión del aire. El modelo de atmósfera promedio decrece de temperatura con la altura en un orden de  $6.5 \text{ }^\circ\text{C/Km}$ ; el decrecimiento promedio de la densidad con la altura usualmente exponencial, pero un promedio en la distribución de humedad es raramente especificado. Por esta razón, un modelo especial de refractividad de la Atmósfera ha sido desarrollado para el estudio de la radio propagación.

---

El índice de refractividad  $n$  de la atmósfera está relacionado con su constante dieléctrica  $\epsilon$  (relacionada al vacío), siendo entonces la siguiente relación:

$$n = \sqrt{\epsilon} \quad \text{IV.(1)}$$

Cerca de la superficie de la Tierra,  $n$  difiere de la unidad por aproximadamente  $3 \times 10^{-4}$ , pero usualmente las propiedades de refractividad de la Tropósfera se expresan con el coíndice de refracción  $N$ , dado por la fórmula:

$$N = (n - 1) 10^6$$

Por ejemplo, el índice de refractividad de la Atmósfera al nivel del mar varía entre 1.000240 y 1.000400, dependiendo de la localización, hora del día y mes del año. -- Así, esto expresado en unidades  $N$ , o sea en múltiplos de  $10^{-6}$ , los límites prácticos de  $N$  en la superficie de la Tierra varían entre 240 y 400.

Existen dos importantes niveles de referencia llamados:

$N_0$  = valor de  $N$  al nivel del mar

$N_s$  = valor de  $N$  en la superficie de un lugar dado.

El CCIR\* (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones), define la Atmósfera Estándar dando a  $N_0$ , la refractividad al nivel del mar, el valor de:

$$N_0 = 289 \text{ unidades } N$$

El CCIR también define el decrecimiento promedio con la altura del índice de refractividad con la siguiente re-

\*-Apéndice 2. Rec. No.369 CCIR 10a. Asamblea Plenaria.

lación:

$$N_s = 289 e^{0.136 h_s} \quad \text{IV. (2)}$$

donde  $h_s$  es la altura sobre el nivel del mar de la estación, expresada en kilómetros.

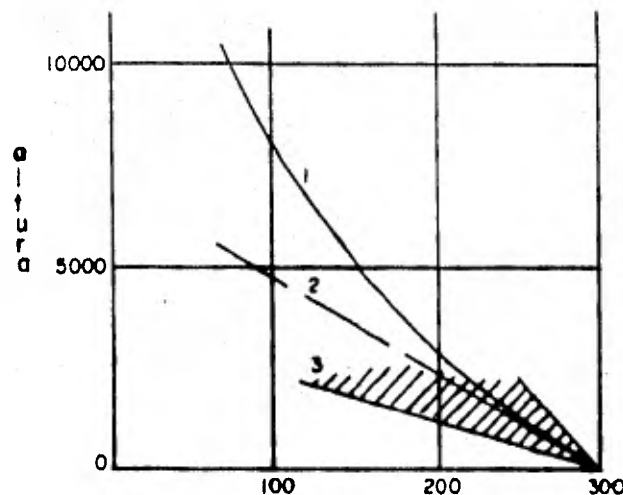
En las capas más bajas de la Atmósfera, a una altura aproximada de 3 Km., el índice de refractividad varía linealmente con la altura, con un gradiente estándar dado por:

$$g_0 = -39 \text{ unidades N/Km}$$

o más aproximadamente:

$$g_0 = -40 \text{ unidades N/Km}$$

dependiendo de su localización geográfica, el gradiente promedio en las capas más bajas variará entre -20 y -80 unidades N/Km., como se muestra en la Fig. IV.1.



$$\text{Coíndice de refracción } N = (n-1)10^{-6}$$

FIG. IV.1 ATMOSFERA ESTANDAR

- (1) El índice de refractividad variando exponencialmente con la altura, definido por el CCIR como:

$$N = 289 e^{0.136 h_{\text{km}}}$$

- (2) Índice de refractividad variando linealmente con la altura, usando como una aproximación en las capas más bajas de la Atmósfera:

$$N = 289 - 39 h_{\text{km}}$$

- (3) Región dentro de la cual los valores del gradiente promedio del índice de refractividad en las capas más bajas de la Atmósfera son encontrados en la práctica.

La teoría basada en la polarización molecular de los gases de la Atmósfera, relaciona la refractividad con la temperatura, la presión atmosférica y la presión de vapor de agua.

Esta expresión teórica es:

$$\begin{aligned} N &= \frac{77.6}{T} (p + 4810 \frac{e}{T}) \\ &= 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \end{aligned} \quad \text{IV.(3)}$$

donde:

N = refractividad

T = temperatura en °K

P = presión atmosférica en milibares

( 1 milibar =  $10^3$  din/cm<sup>2</sup> )

e = presión del vapor de agua en milibares

Los parámetros meteorológicos tales como la presión, humedad y temperatura, deberán obtenerse de mediciones llevadas a cabo con radio-sondas.

Las moléculas de agua son fácilmente polarizadas en el caso de longitudes de onda muy cortas y esto aumenta a un valor alto la constante dieléctrica del vapor de agua.

Aunque la expresión de  $N$  es independiente de la longitud de onda, su rango de aplicación está limitado para longitudes de onda mayores a 3 cm. A longitudes de onda cortas, es la absorción la que toma el control del fenómeno.

La fórmula de la refractividad  $N$  está formada por dos términos:

a) Término Seco: 
$$D = -77.6 \frac{P}{T}$$

el cual es proporcional a la densidad del aire.

b) Término Húmedo: 
$$W = 77.6 + 4810 \frac{e}{T^2}$$

el cual es el responsable de la mayor parte de la variación temporal y espacial de  $N$  en la Tropósfera.

A medida que la temperatura se incrementa, el término seco decrece para una presión atmosférica dada, mientras que el término húmedo se incrementa para una humedad relativa dada.

Lo anterior, es el por qué de la relación entre la presión de vapor saturado y la temperatura del aire.

La variación en el coíndice de refractividad con la altura, esto es:

$$\Delta N / \Delta h$$

deberá calcularse con la fórmula general.

Para las capas más bajas, donde la atmósfera es densa, la fórmula aproximada que a continuación aparece, deberá ser usada con un error que no excede del 10%.

$$\Delta N = 0.3\Delta p - 1.2\Delta T + 7\Delta r \quad \text{IV.(4)}$$

Las variaciones de presión  $\Delta p$  se pueden considerar despreciables, dado que la presión decrece uniformemente con la altura. Las unidades de presión pueden usarse recíprocamente con las unidades de altura, ya que el descenso de 100 mb en las capas más bajas de la atmósfera, representa un incremento en la altura de 1000 m.

Las variaciones de temperatura  $\Delta T$ , toman la forma de un descenso de temperatura con la altura. El gradiente de temperatura es muy variable, siendo el límite superior, en general, el del gradiente adiabático del aire, o sea uno donde no ocurre intercambio de energía, lo cual significa una atmósfera inestable, manteniendo la turbulencia resultante el gradiente de temperatura en el valor adiabático de aproximadamente  $-10 \text{ }^\circ\text{C/Km}$ .

Las variaciones de Humedad  $\Delta r$  son las más importantes. El vapor de agua en la atmósfera se eleva desde la superficie de la Tierra por evaporación, y tiende a esparcirse en la Atmósfera. La dispersión es lenta en un período de calma, cuando solamente actúan las fuerzas gravitacionales.

Es, en otro aspecto, mucho más rápido en una Atmósfera turbulenta, por un factor que excede a 1000. Como un resultado la humedad varía solamente un poco en una zona turbulenta, pero puede tener un gradiente excesivo con respecto a la altura en una región estable.

Lo anterior, nos indica que es posible distinguir entre dos situaciones diferentes, la que existe en zonas turbulentas donde el gradiente del índice de refractividad tiene un valor cercano al del gradiente adiabático, quizá  $-20$  N/Km; y la que existe en zonas estables, donde el valor del gradiente es mucho mayor.

El estudio de los movimientos atmosféricos hace posible definir varias regiones con gran precisión.

Si en un punto en la atmósfera el valor del índice de refractividad es una función de la posición, las variaciones en la dirección vertical tienen, notoriamente, diferentes efectos, comparado con las variaciones en direcciones horizontales. Esto ocurre porque, en general, la atmósfera tiende a establecerse en capas estratificadas horizontalmente, causadas por las diferencias en la densidad.

La teoría del flujo atmosférico indica la posibilidad de dos procesos, a saber, flujo laminar y flujo turbulento.

Los límites entre estos dos tipos de flujo están claramente definidos, y dependen de la estabilidad de la atmósfera.

En una región de flujo laminar, la atmósfera se vuel-



ve estratiforme, y aparecen capas angostas estables. Estas capas son muy variables en su tamaño, tanto en la dirección horizontal como en la vertical.

En una región de flujo turbulento, existen remolinos primarios inestables que están distribuidos con mayor o menor organización dependiendo del espesor de la región.

Una representación suficientemente razonable de la atmósfera es, en consecuencia, una resultante de la superposición en el espacio de zonas de flujo laminar y turbulento, el primero dado por las capas delgadas estables llamadas en francés "feuilletés" y el segundo por las capas turbulentas. (Figura IV.2)

La naturaleza de las superficies de separación entre capas debe ser incluida en esta representación. Estas superficies poseen irregularidades vinculadas con el movimiento de las capas adyacentes, o de la atmósfera como un todo.

#### **IV.1.3. CAPAS TURBULENTAS.**

La turbulencia en la atmósfera está asociada con el gradiente de velocidad del viento, el cual causa remolinos.

Cuando las corrientes de remolinos han alcanzado cierta estabilidad, el fenómeno se puede imaginar como una progresiva transferencia de energía calorífica externa de un remolino a otro, debido a las fuerzas de rozamiento que

existen entre los remolinos primarios. A medida que el tamaño de los remolinos es menor, el intercambio de energía es más vigoroso y la pendiente del gradiente de velocidad es mayor. Con remolinos de tamaño suficientemente pequeño el intercambio es total. Hay una limitación en el tamaño del remolino asociado con las fuerzas de rozamiento, esto es, con la viscosidad del medio.

Se ha visto que existen dos límites en el tamaño de los remolinos; una  $l_M$  máxima correspondiente a los remolinos más grandes que toman parte en la transferencia de energía, y una  $l_m$  mínima al nivel de la fricción viscosa. La distribución de los remolinos de tamaño intermedio está gobernada por un espectro de turbulencia. Este espectro expresa la distribución probabilística de remolinos de diferente tamaño.

Antes de que el movimiento turbulento pueda ser generado deben existir ciertas condiciones inestables, las cuales pueden caracterizarse por el Número de Reynolds  $R_o$ :

$$R_o = \frac{\rho u l}{\eta} \quad \text{IV.(5)}$$

donde:

$\rho$  = densidad del fluido ( $\text{gr/cm}^3$ )

$\eta$  = viscosidad del fluido

$u$  = velocidad del fluido dentro de la longitud  $l$ .

Cuando  $R_o \gg 1$  produce turbulencia. En la Tropósfera  $R_o$  puede alcanzar valores cercanos a  $10^6$ .

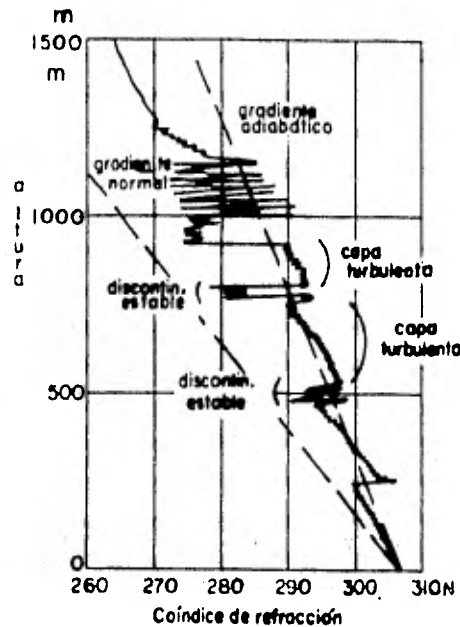


FIG. IV.2.- ATMOSFERA ESTRATIFICADA.

Las regiones donde el flujo de aire es laminar dá lugar a capas delgadas estables, y las regiones de flujo turbulento a capas turbulentas donde el gradiente promedio del índice de refractividad se aproxima al valor del gradiente adiabático ( $\Delta N = -20\Delta h$ ). Esta gráfica es un ejemplo típico de un registro producido por un refractómetro aerotransportado, tomado en la región de Tours en Francia en Junio de 1957. Debe notarse que las variaciones presentes en las capas delgadas estables pueden deberse a irregularidades en las superficies límites, y resultan del lento ascenso vertical del avión.

#### IV.1.4. CAPAS DELGADAS ESTABLES.

Las capas delgadas estables también llamadas "feuillets", son de características muy variables. El flujo laminar del aire dentro de una capa produce un cambio en el índice de refractividad medio a través de su espesor. Dichos cambios pueden tener valores completamente dispersos.

Cuando el espesor de la capa es grande, y el cambio en el índice de refractividad es también grande, se dice que existe una inversión de capas. Esta situación ocurre especialmente sobre el mar, donde la inversión de capas de la superficie se presenta frecuentemente. Esto puede ocurrir también sobre la tierra, tanto en las capas superficiales como en las alturas. Dichas capas pueden ser muy extensas en su tamaño.

En el caso de capas gruesas, el gradiente del índice de refractividad puede ser considerado, como una primera aproximación, que varía linealmente de acuerdo al grosor con una relación diferente de la atmósfera circundante.

Una capa delgada ("feuillet") está referida como una discontinuidad, la cual es estable, y el cambio en el índice de refractividad,  $\delta_n$ , que ocurre desde su límite más bajo hasta su límite más alto sobre su espesor  $e$  (el cual es pequeño), puede, como una primera aproximación, ser tomado como una discontinuidad del gradiente del índice de refractividad.

Las dimensiones de las discontinuidades estables son

generalmente de menor importancia que las de capas más gruesas.

Las superficies de estas capas son a menudo irregulares, debido en parte a la turbulencia en las capas adyacentes, y en parte a los movimientos de la atmósfera como un todo, lo cual, puede producir oscilaciones periódicas.

La existencia de discontinuidades está muy relacionada con la estabilidad atmosférica. Mientras más estable es la Atmósfera, mayor es la tendencia a la estratificación.

#### IV.1.5. DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA FINA DE LA TROPOSFERA,

##### 1.5.A.- CAPAS TURBULENTAS.

Las magnitudes de los parámetros que describen las capas turbulentas se dan en la siguiente tabla:

##### CARACTERISTICAS PROMEDIO PARA CAPAS TURBULENTAS.

- Variaciones en el Índice:  $\delta_n$  , unas pocas unidades N
- Escala de Turbulencia;  $l_0$  , unas pocas decenas de metros.
- Variación con la altura;  $\frac{\delta_n}{h_0} \sim h^{-2}$  o exponencial

La escala promedio para la turbulencia  $l_0$  es mucho ma

yor en el plano horizontal que en el vertical, siendo la -  
relación:

$$\frac{l_H}{l_V} \approx 3$$

Los valores límites para el espectro de turbulencia -  
están cerca de los 100 m. para remolinos muy grandes, y u-  
nos pocos milímetros para los muy pequeños.

### 1.5.B.- CAPAS DELGADAS ESTABLES.

Fue establecido que la -  
variación del gradiente del índice de refractividad en las  
capas delgadas estables puede ser del orden de cientos de  
una unidad N para un espesor de un metro. Dichas capas --  
pueden extenderse a unas pocas decenas de kilómetros, con  
la tendencia a ser más grande con el incremento en la altu  
ra. La frecuencia de su ocurrencia es poca por kilómetro  
de altura en las capas más bajas de la Tropósfera, y lige-  
ramente mayor en las capas más altas. Sus superficies tie  
nen irregularidades primarias cuyo tamaño promedio es de -  
unas cuantas decenas de kilómetros y su profundidad de unas  
cuantas decenas de metros.

#### CARACTERISTICAS PROMEDIO DE LAS CAPAS ESTABLES.

- Discontinuidad del

Gradiente:  $\delta_n$ , de unos cuantos  $10^{-2}$  uni-  
dades N,

- e , de unos cuantos metros.
- Dimensiones Horizontales: L , de unas cuantas decenas de kilómetros.
  - Irregularidades Primarias: h , de unos cuantos metros.  
l , de unas cuantas decenas de metros.
  - Irregularidades Secundarias:  $h_1$  , de unas cuantas decenas de metros.  
 $l_1$  , de unos cuantos kilómetros.

Las magnitudes citadas deben ser tomadas con reserva. El estudio de estas capas atmosféricas y de sus características no ha sido completado, y está basado solamente en unos cuantos resultados obtenidos principalmente en clima templado.

#### IV.1.6. RUIDO ATMOSFERICO.

En adición a las fuentes de ruido extraterrestres (Ruido Galáctico o Cósmico y ruido del Sistema Solar), existen un número de fuentes de ruido que se encuentran alrededor de la Tierra. El medio de propagación contribuye al ruido de antena a frecuencias en las que el medio es absorbente. Estos ruidos incluyen componentes introducidas por absorción a través de la Ionósfera y la Tropósfera, radiación de la tierra cercana a la localización de la antena en los 16

bulos traseros de la antena, y pérdidas en la misma antena.

1.- ABSORCION IONOSFERICA.-

La absorción ionosférica es -- muy pequeña para las frecuencias que se usan en los - enlaces troposféricos, por lo tanto, es despreciable.

2.- ABSORCION TROPOSFERICA.-

El ruido originado en la at-- mósfera terrestre es causado por la absorción del oxí- geno, vapor de agua y lluvia en las ondas de radio. r De esta forma la antena se encuentra rodeada por una atmósfera absorbente que emite radiación de cuerpo o- paco. La magnitud del ruido en las terminales de la antena depende del coeficiente de absorción y de la r temperatura que exista en la atmósfera. El principal elemento absorbente en el extremo bajo de la banda, - es el oxígeno, y dado que el contenido de oxígeno no cambia apreciablemente con el tiempo, el ruido genera- do es relativamente constante.



## IV.2. CARACTERISTICAS DE LA PROPAGACION TROPOSFERICA.

La propagación empleando dispersión hacia adelante (Forward Scattering), implica esencialmente una gran pérdida de transmisión. Por lo tanto, es necesario usar antenas de alta ganancia y, consecuentemente, antenas con patrón de radiación angosto tanto en el extremo transmisor como en el extremo receptor, si la pérdida no es excesiva. En la práctica, los patrones de radiación de las antenas se arreglan como se muestra en la Figura IV.3, para que se intersecten en un volumen común en donde ocurre la dispersión.

El ángulo de dispersión  $\theta$  (ángulo scatter) entre los patrones de radiación transmisor y receptor es de gran importancia, y para una transmisión efectiva debe de ser conservado tan pequeño como sea posible. Esto implica que los sitios transmisor y receptor deben escogerse de tal forma que no tengan obstruida la vista del horizonte natural.

El alcance máximo de señales dispersadas por la Tropósfera está determinado por la mayor altura en la cual ocurre la dispersión en esa región; la Tropósfera se extiende cerca de los 10 a 16 Km, y el correspondiente alcance máximo está cerca de los 650 Km.

En los extensos experimentos llevados a cabo hasta la década de los 60's, se han establecido las características esenciales del modo de propagación por Dispersión Troposférica (Troposcatter).

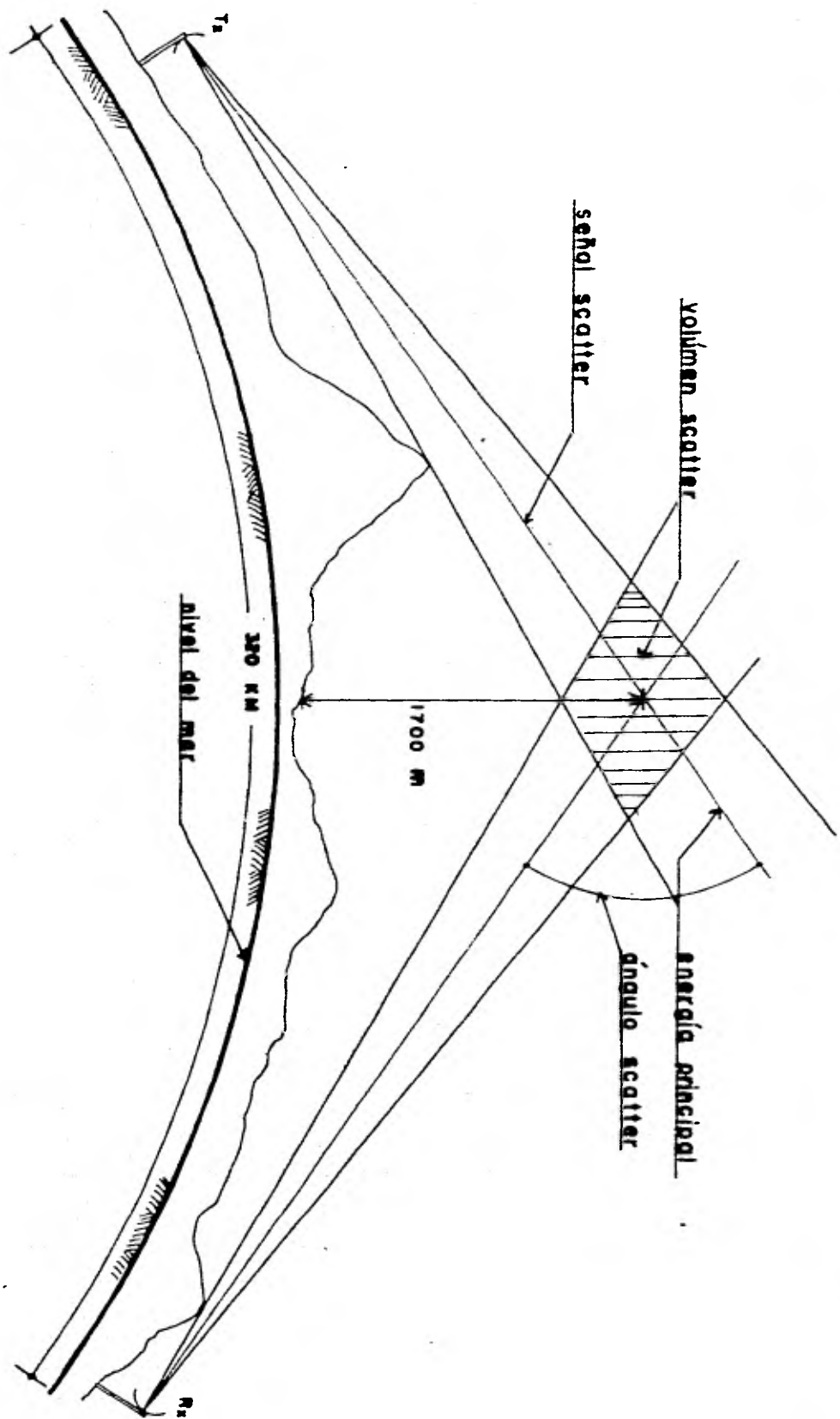


FIG. IV. 3.— GEOMETRIA DE UN ENLACE TROPOSFERICO .

A continuación se muestra un resumen de las características más importantes de la propagación troposférica con dispersión hacia adelante.

#### IV.2.1. PERDIDA DE DISPERSION (SCATTER).-

Esta es la pérdida que se adiciona a la pérdida por espacio libre, empleada en los cálculos por línea de vista. Su naturaleza es estadística y está sujeta a dos tipos de variaciones en el tiempo o por desvanecimientos.

**A) DESVANECIMIENTO RAPIDO:** es la variación de período corto de los valores instantáneos de la señal, la cual se cree que se deba a los efectos de multitraectorias. La señal es el resultado de un gran número de componentes con fases aleatorias y variantes. Tiene una distribución de Rayleigh para un período de muestreo de 1 a 5 minutos.

**B) DESVANECIMIENTO LENTO:** sobrepuesto en el desvanecimiento rápido está el desvanecimiento lento, el cual se cree que sea el resultado del cambio del índice de refractividad de la atmósfera. El desvanecimiento lento es una variación con período largo de la media horaria con intervalos de 15 a 30 minutos. Este tipo de desvanecimiento tiene una distribución Logarítmica (Log-Normal), con una Desviación Estándar de 2 a 10 dB, dependiendo del ángulo scatter.

**C)** Pueden ser recibidas señales útiles de 650 Km o más

siempre y cuando sean empleadas antenas de grandes dimensiones, transmisores de muy alta potencia y receptores sensibles.

- D) Pueden ser usadas frecuencias desde 100 a 10,000 - MHz, sin embargo, las frecuencias abajo de 1,000 - MHz son más efectivas, generalmente, para trayectorias más largas.
- E) Anchos de banda de 3 a 4 MHz, lo cual es suficiente para transmitir un canal de televisión o varios cientos de canales telefónicos, pueden ser transmitidos a grandes distancias hasta cerca de 300 Km, siempre que sean empleadas antenas muy grandes con patrón de radiación angosto, y transmisores de alta potencia. Sin embargo, el ancho de banda útil decrece rápidamente a medida que la distancia se incrementa.

#### IV.2.2.-- PERDIDA DE ACOPLAMIENTO DE LA ANTENA AL MEDIO.--

Puesto que las señales que llegan al receptor desde un extendido volumen scatter estrechando el patrón de radiación de la antena, eventualmente reducen este volumen scatter, la ganancia total de la antena no se lleva a cabo. Como un resultado, se incurre en una pérdida en la ganancia de antena, la cual ha llegado a ser conocida como la pérdida de acoplamiento de la antena al medio.

### IV.3. TEORIAS SOBRE PROPAGACION TROPOSFERICA.

La teoría de Dispersión fue presentada por Pekeris - en 1947, pero fue el trabajo de Booker y Gordon, simultáneamente con el de Megaw en 1950, lo que puso los fundamentos definitivos. Sin embargo, los postulados hechos - en ese tiempo tocante a las características físicas de - turbulencia, eran algo arbitrarias. Estudios de estas ca racterísticas fueron continuados por dos líneas distintas. Algunos autores, siguiendo en los Estados Unidos a Silverman y a Megaw en Inglaterra, reconstituyeron o elaboraron las teorías de Turbulencia originados por Kolmogorov y Oboukhov en la Unión Soviética, y quizá Heisenberg en los Estados Unidos. Otros, por el contrario, desarrollaron - ideas originales sobre la dependencia de las ondas electromagnéticas en turbulencia. Entre éstos estaban Villars y Weisskopf, Batchelor, Bolgiano y Wheelon.

La consecuencia de las Teorías de Dispersión, tanto como las características de propagación dependiente de - ello, fueron el tema de muchos estudios, entre los que se cuentan, debido a su originalidad e importancia, los hechos por: Staras, Bullington, Wheelon, Norton, Rice, Booker y Gordon en los Estados Unidos; Megaw y Saxton en Inglaterra; Bremmer en Holanda; Kalinin, Tatarski y Troitsky en la Unión Soviética y finalmente Voge en Francia.

La parte representada por la reflexión desde capas - estratificadas de la atmósfera, fue primeramente examinada por Feinstein, quien consideró un grupo de dichas ca--

pas en sus estudios.

Alguno de los primeros trabajos sobre reflexión en una discontinuidad en el índice de refracción de la Atmósfera, fue iniciado por Epstein, quien generalizó la fórmula de Reflexión de Fresnel.

Entre los años de 1950 y 1957, algunos autores como Smyth o Ament, regresaron a la cuestión.

En 1957 el problema fue empezado por Friss, Crawford y Hogg, quienes se imaginaron que un número limitado de capas era operativo, y Beckmann en Checoslovaquia, quien estudió la reflexión en una superficie irregular. Sin embargo, el papel, básico representado por las irregularidades de una superficie en el proceso de reflexión en una capa estratificada no fue totalmente desarrollada hasta 1959 y 1960, cuando el equipo francés de investigadores, Du Castel, Misme, Spizzichino y Voge, presentaron una síntesis del complejo fenómeno de propagación troposférica.

Otros estudios sobre el tema, merecidamente mencionados por lo original de la propuesta, fueron los de Carroll a principios de 1951, sobre la extensión de la Teoría de Modos, y los de Robieux en 1959, sobre propagación en un medio heterogéneo.

Los aspectos radiometeorológicos de propagación troposférica fueron estudiados particularmente por Bean, en los Estados Unidos, y por Misme, en Francia.

A continuación, como anteriormente se citó, se dan -

las teorías que muestran lo más reciente, y que de ellas se derivan los procedimientos para el diseño de los enlaces troposcatter. Estas son:

#### IV.3.1. TEORIA DE DISPERSION TURBULENTA:

Las características de desvanecimiento severo y rápido sugirieron a muchos investigadores en este campo, que la turbulencia atmosférica estaba ocasionando el fenómeno de dispersión. El concepto usual del fenómeno de dispersión (scatter) puede ser descrito como sigue.

Es bien sabido que las propiedades físicas del aire no varían en forma continua y uniforme, hay variaciones irregulares en el índice de refracción de la atmósfera, así que la atmósfera puede considerarse que consiste de "burbujas" (blobs) con diferentes constantes dieléctricas distribuidas aleatoriamente. -- Cuando una onda de radio con una longitud de onda suficientemente corta comparada con el tamaño de la -- discontinuidad es enviada a través de la atmósfera, la mayor parte de la energía de la onda continúa en su -- dirección original, pero alguna parte es dispersada -- en diferentes direcciones. La teoría de dispersión -- supone la existencia de fluctuaciones en espacio y -- tiempo del índice de refracción dentro de un volumen común de dispersión definido por la intersección del ángulo sólido del patrón de radiación de las antenas transmisora y receptora, como se muestra en la Fig.

IV.3.

El ángulo formado por la dirección del haz original y el haz dispersado, es llamado ángulo scatter o ángulo de dispersión; mientras más pequeño es el ángulo scatter más intensa es la radiación dispersada. La Fig. IV.3 muestra la geometría de un circuito Troposcatter típico, mostrando un transmisor Tx y un receptor Rx con antenas de haz angosto. Los haces se dirigen tan bajos como la topografía del terreno lo permita, de tal forma que el ángulo scatter se conserve tan pequeño como sea posible; usualmente no es mayor de dos o tres grados. Donde los patrones de radiación de las antenas transmisora y receptora se intersectan, ahí está localizado el volumen de aire que actúa como el volumen scatter o dispersión; diferentes partes del volumen contribuyen con la onda dispersada, de tal manera que la energía recibida está compuesta por muchas componentes, las cuales han viajado distancias ligeramente diferentes. Esto significa que la señal no es de intensidad constante, sino que se desvanece de la misma manera que las señales de Altas Frecuencias en grandes distancias las cuales son transmitidas a través de diferentes trayectorias en la Ionósfera. La teoría de Troposcatter ha sido extendida recientemente para explicar las intensidades de campo medidas a distancias más allá del horizonte de cerca de 500 a 1000 kilómetros. Después de una cuidadosa normalización de factores tales como: frecuencia, pérdida por acoplamiento de apertura al medio de la



antena, índice de refractividad de la superficie, - absorción gaseosa atmosférica y altura de la trayectoria, además de considerar otros parámetros correspondientes a la parte baja de la atmósfera, se puede obtener un buen resultado entre la mediana de la pérdida de transmisión medida y la calculada para distancias de aproximadamente 1000 kilómetros, cuando se supone que la intensidad de la turbulencia decrece exponencialmente con la altura.

#### IV.3.2. TEORIA DE DISPERSION EN CAPAS ATMOSFERICAS TURBULENTAS:

Las mediciones realizadas en avión del índice de refractividad han demostrado que en la atmósfera está presente distinta estratificación del índice para al menos la mitad del tiempo en muchos lugares. Varias mediciones realizadas para trayectorias mas allá del horizonte de la intensidad de campo vs. distancia, dan evidencia de elevaciones en la intensidad de campo, las cuales pueden ser relacionadas con las capas atmosféricas.

Mientras que la teoría básica de dispersión turbulenta ha tenido la mayor aceptación en este tiempo, la teoría ha sido modificada para predecir la potencia esperada a ser dispersada en trayectorias mas allá del horizonte por la turbulencia que se ha creído está asociada con tales capas atmosféricas.

#### IV.3.3. TEORIA DE LAS REFLEXIONES EN LAS CAPAS ATMOSFERICAS:

Otra teoría de propagación a grandes distancias en la banda de UHF, la cual tiene cierto parecido con la teoría de dispersión, es la teoría de las reflexiones en las capas atmosféricas. Esta teoría está basada en la suposición de que la propagación más allá del horizonte se debe a reflexiones en un gran número de capas atmosféricas dispuestas aleatoriamente en el volumen de la atmósfera común a los patrones de radiación de las antenas transmisora y receptora.

En las capas reflectoras la constante dieléctrica de la atmósfera presenta cambios bruscos en la constante dieléctrica, los cuales han sido observados realizando medidas con refractómetro. Esta teoría predice una pérdida en la trayectoria la cual varía con el cubo de la frecuencia y la cual está acorde con la teoría de dispersión básica. La teoría de reflexión también predice una pérdida de acoplamiento al medio, la cual está de acuerdo con las medidas realizadas en campo.

#### IV.4.- TECNICAS DE DIVERSIDAD EN SISTEMAS DE DISPERSION TROPOSFERICA.

Se sabe, a partir de observaciones experimentales que el desvanecimiento en los canales de radio que están suficientemente separados en espacio, frecuencia ó tiempo y algunas veces en polarización, no está estadísticamente rela

cionado. Este hecho se utiliza en técnicas de recepción - con diversidad, los cuales se usan ampliamente, especialmente cuando se desea seguridad en la propagación. El objeto de estas técnicas de diversidad es contar con varias señales en el punto de recepción, que sean copias muy similares de alguna señal deseada, con el fin de obtener niveles de señal altos, más económicamente que incrementando la potencia del transmisor y el tamaño de las antenas. Se deberá hacer énfasis, sin embargo, en que la alta seguridad - propagacional que resulta de usar la recepción con diversidad se obtiene solo estadísticamente, ya que estas técnicas están basadas en la naturaleza estadística del desvanecimiento de los canales de radio.

Con el fin de obtener una ventaja significativa del uso de la diversidad, deberá haber un grado suficiente de independencia estadística en el desvanecimiento de las señales recibidas. La condición ideal para el mejoramiento de la recepción con diversidad existe cuando hay completa independencia entre los canales con diversidad.

Por medio del uso de diversidad de espacio, diversidad de frecuencia, o una combinación de ambas, se pueden obtener varios canales de radio, por lo cual las variaciones por desvanecimiento de cualquier canal son estadísticamente independientes de las variaciones de cualquier otro canal, con lo que se obtienen varios canales de transmisión equivalentes y estadísticamente independientes.

El receptor con diversidad funciona de tal manera que la relación señal-a-ruído de la salida comparada con la -

de un solo canal de radio. Si bien una relación señal-a-ruido incrementada es de importancia, el aspecto más significativo de la diversidad es la habilidad que tiene para reducir significativamente la fracción de tiempo en el cual la señal cae hasta niveles no útiles.

Las señales de dispersión troposférica se caracterizan por tener además de los desvanecimientos de corta duración o de Rayleigh, los desvanecimientos de larga duración, que simultáneamente afectan por igual a todos los canales con diversidad, y consecuentemente, el desmejoramiento es efectuado en el desvanecimiento de períodos largos, por el uso de técnicas de diversidad.

#### IV.4.1. SISTEMAS DE DIVERSIDAD.

Este inciso se refiere a sistemas en los cuales se pueden obtener copias de alguna señal deseada, muy similares pero estadísticamente independientes. En comunicaciones por vía troposférica, dos de las técnicas más comunes usadas para obtener diversidad son:

1. Diversidad de Frecuencia
2. Diversidad de Espacio.

La diversidad de Espacio es por lo general la más práctica, aunque la diversidad de frecuencia es preferible cuando no se pueden colocar más de dos antenas en una torre, como por ejemplo, en las instalaciones petroleras marinas.

Existe además, otro tipo de diversidad, menos común, la diversidad Angular, la cual más adelante se explicará.

#### IV.4.1.A. DIVERSIDAD DE FRECUENCIA.

Se ha observado que si se transmite información simultáneamente por el mismo sistema troposférico, en dos ó más frecuencias portadoras, lo suficientemente separadas, la correlación entre las señales separadas es pequeña. La Figura IV.4 muestra una configuración típica de diversidad de frecuencia doble.

La principal ventaja de la diversidad de frecuencia es que solo requiere de una antena en cada extremo de la trayectoria. Por otro lado, la diversidad de frecuencia resulta muy cara debida al número de transmisores y el espectro de frecuencia que se requiere. Para diversidad de frecuencia doble, se requieren ocho frecuencias diferentes, cada una de las cuales debe estar lo suficientemente espaciada de las otras, con el fin de obtener la independencia de las señales recibidas, y también para permitir el uso de una sola antena por cuatro transmisores. El espaciamiento requerido para diversidad de frecuencia de un sistema de comunicación troposférico se encontró que varía entre 0.1 y 10 MHz.

#### IV.4.1.B. DIVERSIDAD DE ESPACIO.

También se ha notado que si se transmite información

en dos ó más portadoras de la misma frecuencia de tal manera que las trayectorias de transmisión estén lo suficientemente separadas físicamente en el espacio, las señales recibidas tendrán desvanecimientos de corta duración independientes. La configuración típica de diversidad de espacio se muestra en la Figura IV.5.

Ya que la diversidad de espacio permite la transmisión por trayectorias físicamente separadas, son necesarias algunas indicaciones para diferenciar cada una de las trayectorias, esto se hace con una marca en la frecuencia o en la polarización. Estas marcas no deben confundirse con diversidad, es decir, dos frecuencias pueden separarse lo suficiente para permitir al sistema receptor distinguir las, pero al mismo tiempo podrían no estar lo suficientemente espaciadas en el espectro para obtener la diversidad de frecuencia.

Podrían usarse las polarizaciones horizontal y vertical para distinguir dos señales separadas en el espacio, pero las polarizaciones mencionadas, no proporcionan un suficiente grado de independencia de desvanecimiento de la señal (al menos en la banda de frecuencias de un sistema de transmisión troposférica) para hacer la diversidad eficiente.

En la diversidad de espacio, la marcación con frecuencia tiene la ventaja sobre la marcación de polarización de que elimina la necesidad de duplexores de alta potencia. Por otro lado, la marcación con frecuencia consume más del

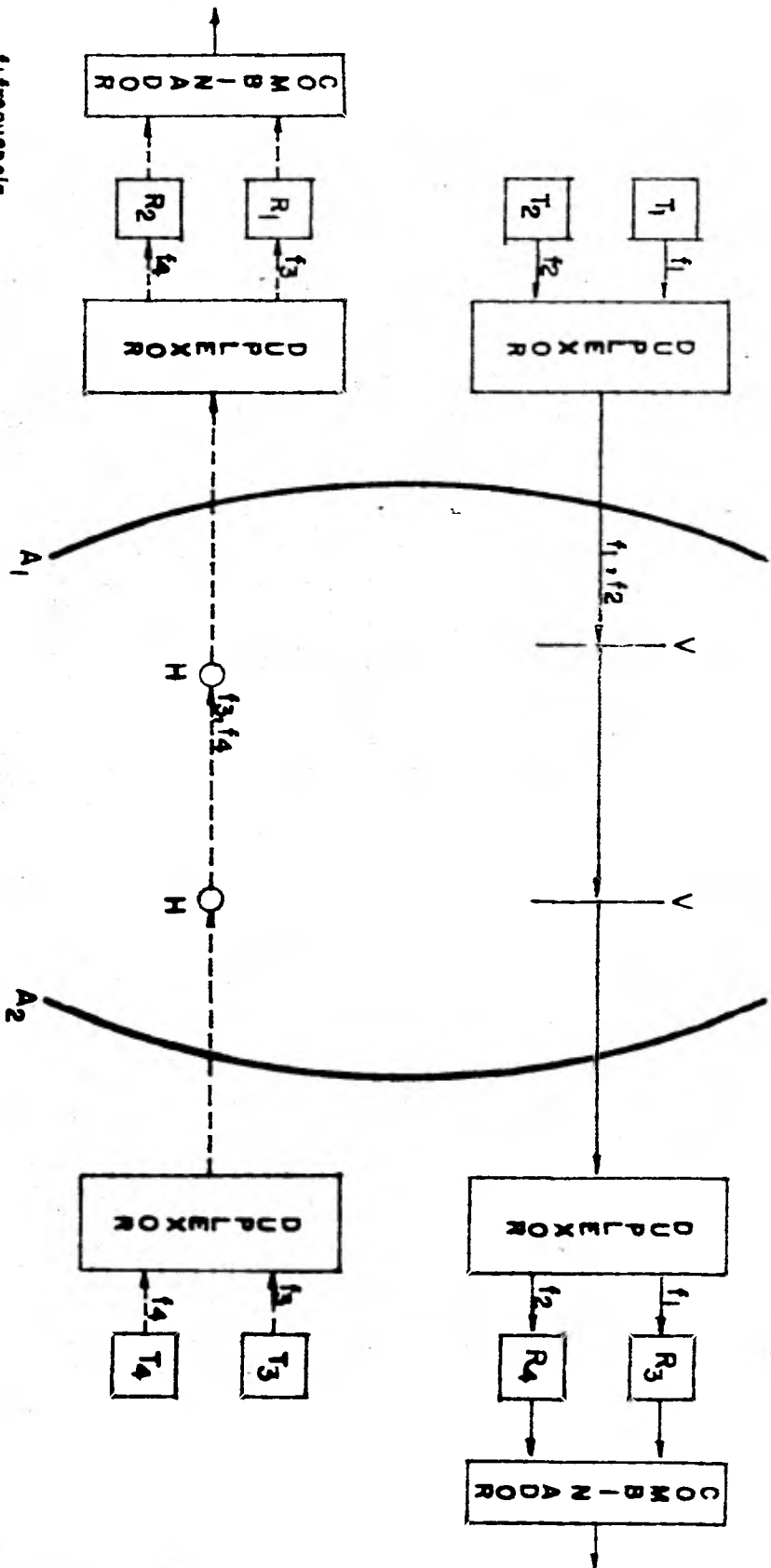
espectro de frecuencias que la marcación en polarización.

A causa de las estrechas limitaciones del espectro de frecuencias permisible y de los problemas asociados con el duplexaje en transmisores de alta potencia, la diversidad de frecuencia es raramente usada, solo en casos aislados, como por ejemplo, donde el número de antenas que puede -- usarse está restringido.

#### IV.4.1.C. DIVERSIDAD ANGULAR.

Es uno de los sistemas de diversidad, en el cual dos - señales que llegan desde dos diferentes direcciones son recibidas por una sola antena con dos patrones de radiación - diferentes, desviados vertical u horizontalmente, logrando los mismos efectos de diversidad de espacio que emplee dos antenas receptoras.

- DIVERSIDAD ANGULAR HORIZONTAL.- en el caso de tener un sistema con diversidad angular horizontal, se obtienen - dos patrones de radiación a la recepción en el plano horizontal, para lo cual se emplean dos radiadores con polarización doble tanto para la transmisión como a la recepción.
- DIVERSIDAD ANGULAR VERTICAL,- en este caso se obtienen dos patrones de radiación a la recepción en el plano vertical, para lo cual se emplean dos radiadores uno de los cuales es de polarización doble para recepción y transmisión, y un radiador de polarización sencilla solo para la señal de recepción.



$f$ : frecuencia  
 T: transmisor  
 R: receptor  
 A: antena  
 V: polarización vertical  
 H: polarización horizontal

FIG.- IV, 4.- CONFIGURACION DE DIVERSIDAD DE FRECUENCIA DOBLE



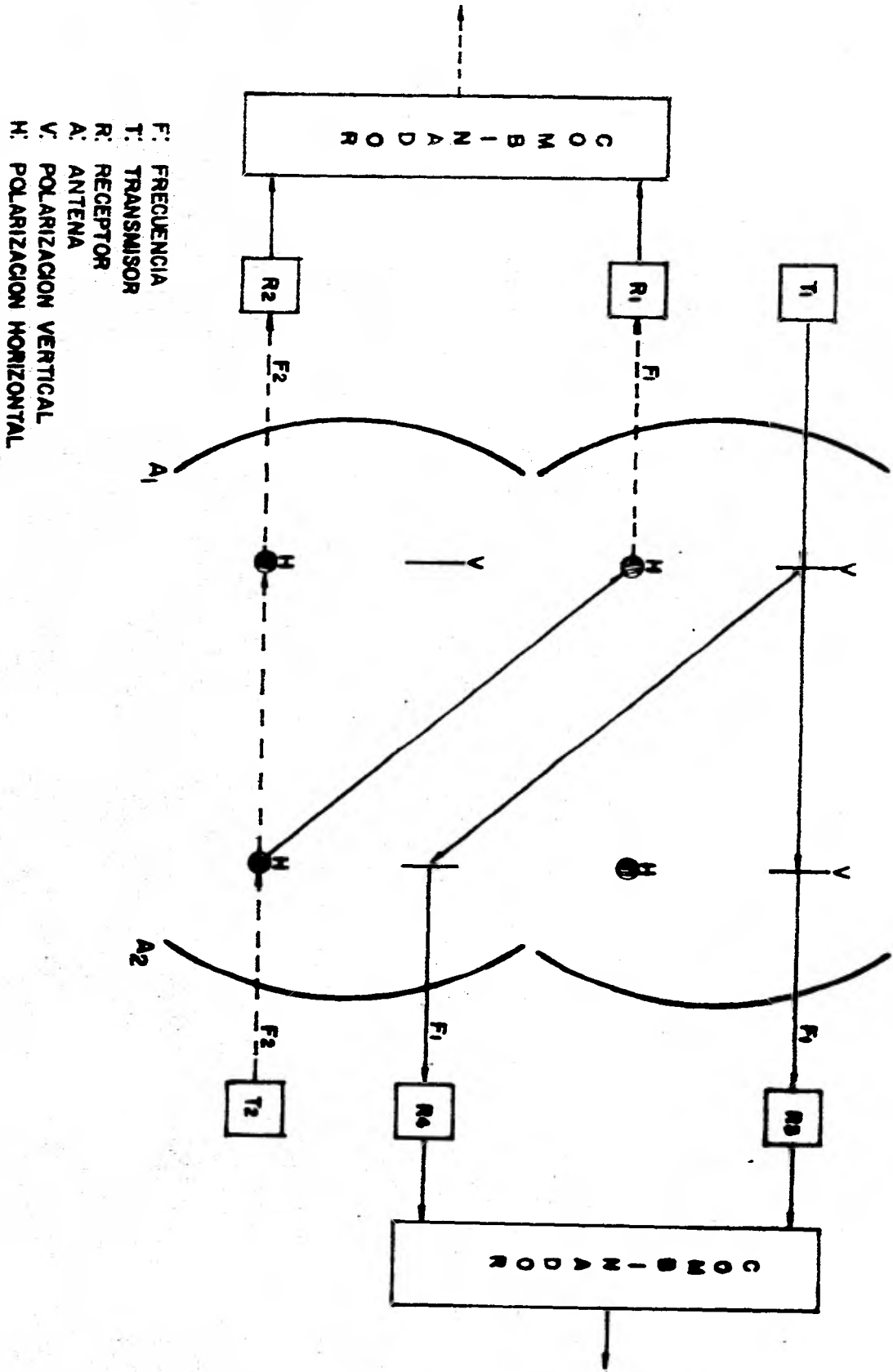


FIG. IX. 9- CONFIGURACION DE DIVERSIDAD DE ESPACIO DOBLE

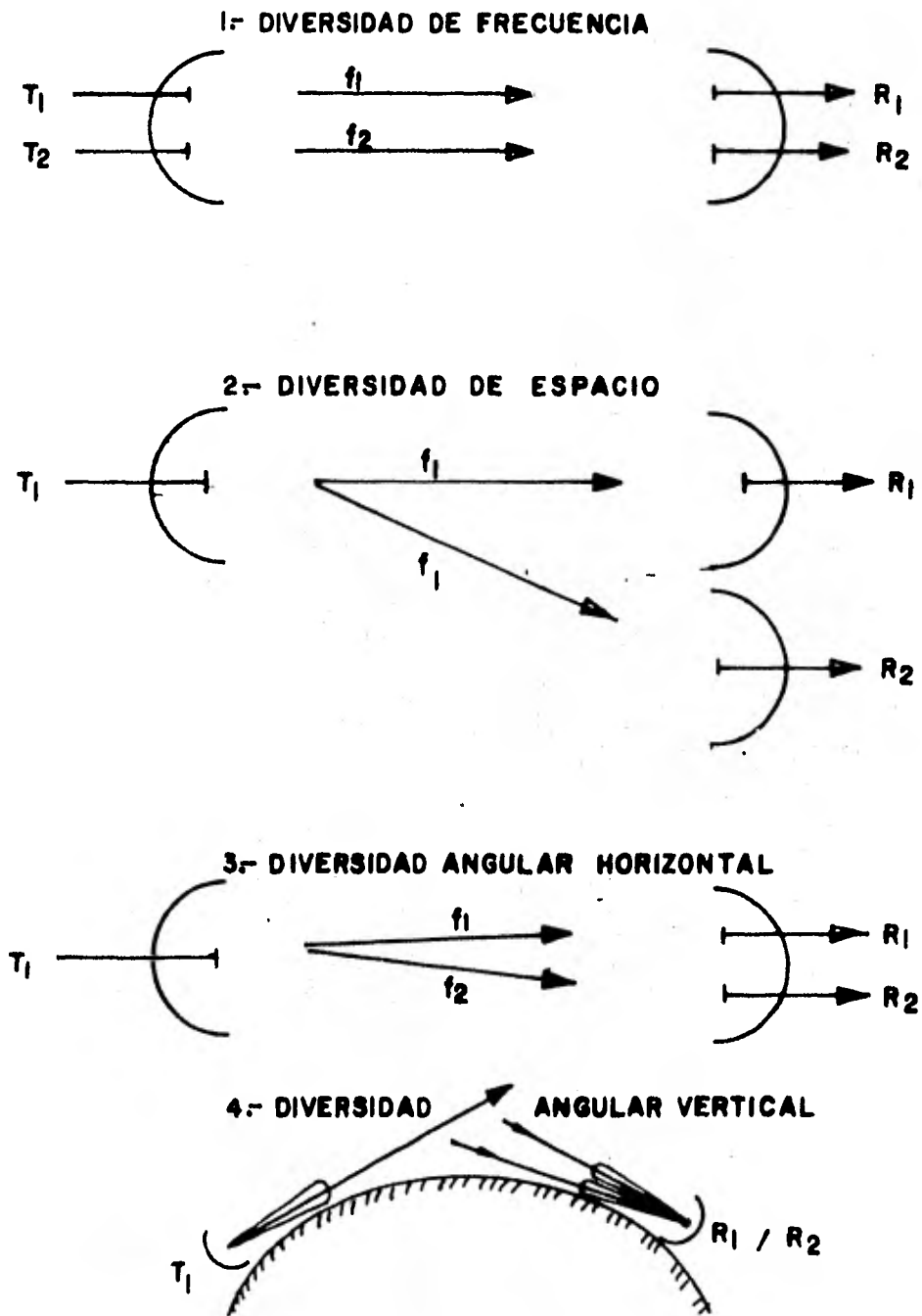


FIG. IV.6.- SISTEMAS DE DIVERSIDAD

#### IV.5. TECNICAS DE COMBINACION.

Las diferentes combinaciones de antena/receptor que han recibido sus respectivas señales, requieren de un método para combinar o seleccionar la señal momentáneamente mejor de la que se desvanece, manteniendo la señal tan estable como sea posible, así como maximizar la relación señal a-ruido.

Existen tres combinadores básicos:

- a). Combinador Selector.
- b). Combinador de igual ganancia.
- c). Combinador de Relación Máxima.

##### IV.5.A. COMBINADOR SELECTOR.

Este combinador determina la señal mayor o aquella -- con mejor relación señal-a-ruido, y automáticamente conmuta esta señal superior a la salida para su uso en el circuito.

##### IV.5.B. COMBINADOR DE IGUAL GANANCIA.

Es también conocido como Combinador Sumador Lineal. Suma las señales de los receptores separados y aplica esta señal sumada a la salida.

##### IV.5.c. COMBINADOR DE RELACION MAXIMA.

También conocido como el Combinador que eleva al cua-

drado las señales antes de la suma, y aplica la suma de esos cuadrados a la salida para su uso.

Cada uno de los tipos de combinadores antes citados - tienen sus ventajas y también sus desventajas, las cuales no serán tratadas en este trabajo.

C A P I T U L O V .

## V. DISEÑO DEL SISTEMA .

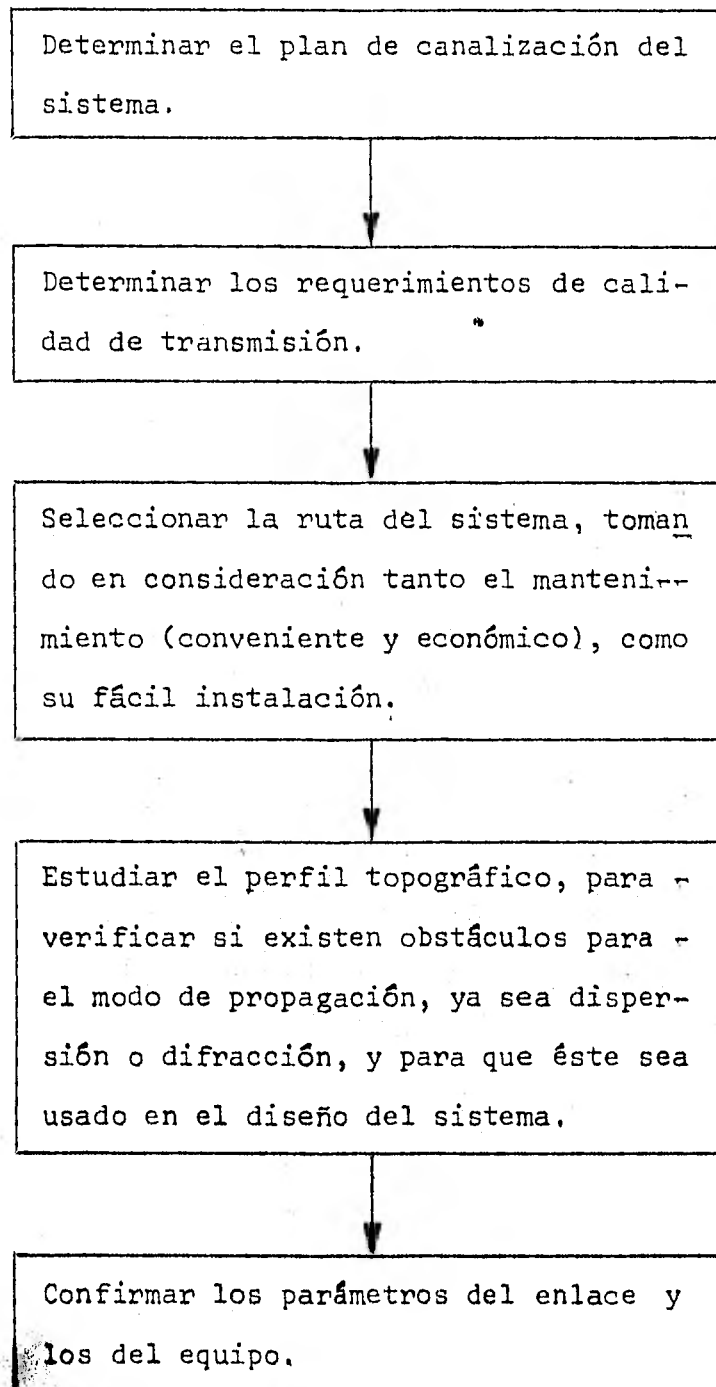
El factor más importante para el diseño de un sistema empleando propagación por dispersión troposférica, es la predicción de la pérdida de transmisión y su variación en el tiempo debida a las variaciones en las condiciones atmosféricas.

El sistema debe estar constituido de tal forma, que la potencia de ruido total sea más baja que el valor permitido. El ruido total está formado por: el ruido térmico del enlace, el ruido de intermodulación, el ruido básico del equipo, etc.

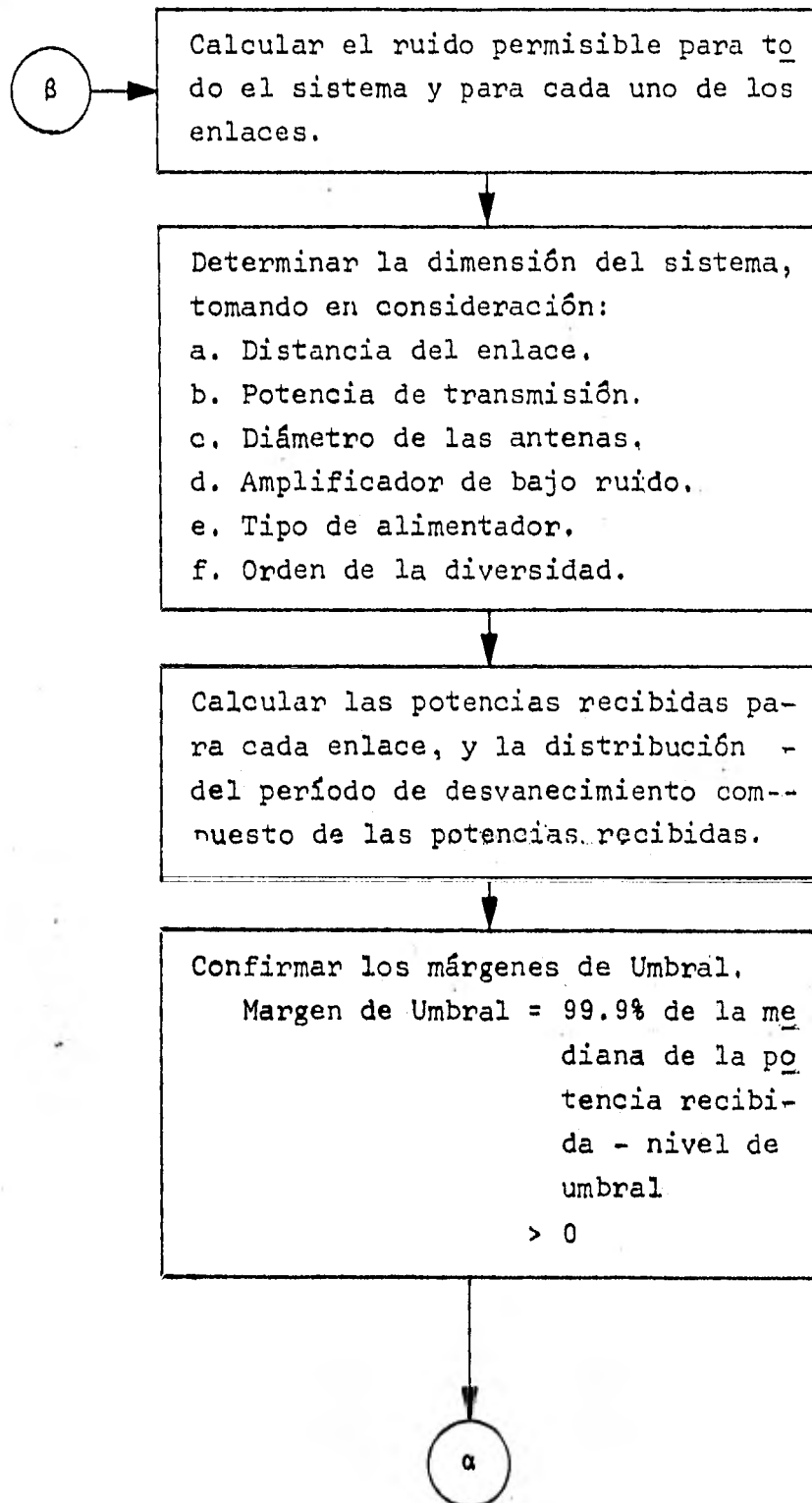
El ruido térmico y el ruido de intermodulación de la trayectoria varían dependiendo de las condiciones geográficas y meteorológicas del enlace, por lo tanto, se requiere llevar a cabo un estudio detallado en campo o bien, hacer suposiciones de las condiciones del enlace para llevar a cabo el diseño del sistema.

Los procedimientos para el establecimiento de un sistema de comunicación empleando propagación por dispersión troposférica, pueden organizarse de acuerdo con los pasos que adelante se indican.

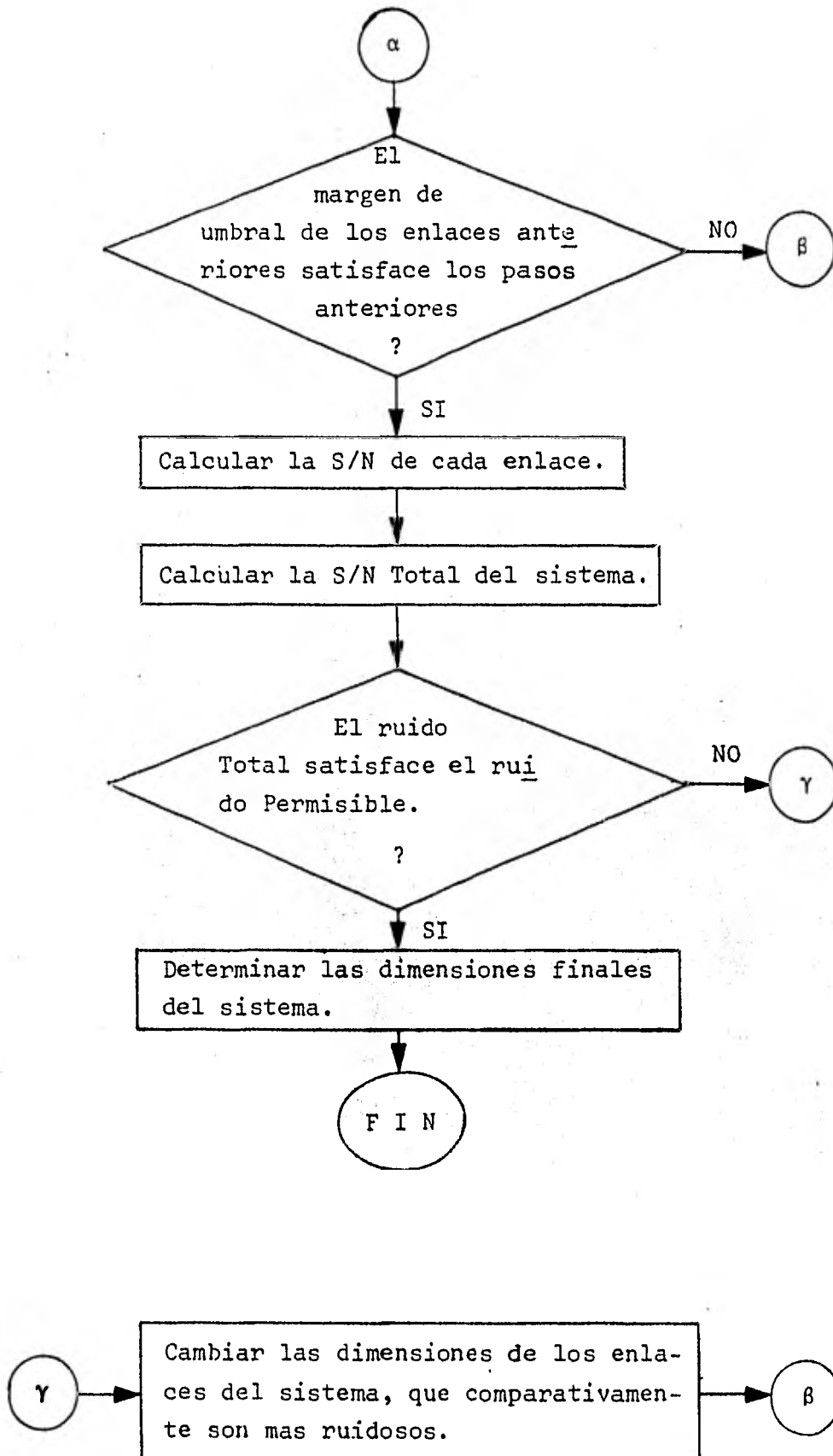
## 1).- PREPARACION PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA:



## 2).- DISEÑO DEL SISTEMA:







## V.1. DETERMINACION DE LOS REQUERIMIENTOS BASICOS DEL SISTEMA.

Para la realización de cualquier sistema de comunicación existen dos características que son de suma importancia: la calidad de los canales de comunicación, y la confiabilidad con la cual se logra esta calidad.

En comunicaciones telefónicas la calidad se mide en términos de la Relación Señal-a-Ruido (S/N). Para la telegrafía y canales de datos, ésta es medida en términos de la cantidad promedio de errores en un canal (Bit Error Rate).

La confiabilidad en sistemas de comunicación por microondas tiene dos factores importantes: la confiabilidad en la propagación y la confiabilidad del equipo.

Tanto la calidad como la confiabilidad requeridas para un sistema de comunicación son generalmente determinadas dependiendo del uso del sistema.

En cuanto a la calidad en sistemas empleando propagación por dispersión troposférica, existen dos tipos: (Referirse a los Apéndices 2.a y 2.b, Recomendaciones del CCIR 395-1 y 396-1.)

### A). CALIDAD I.

El sistema transhorizonte debe ser planeado de tal forma que la potencia de ruido ponderada psicofonéticamente en el punto de nivel relativo cero en un canal telefónico de longitud L, donde L está entre 50 y 2500

kilómetros, transmitido en una o más secciones de ban-  
da base en radio-enlaces con múltiplex por división -  
de frecuencia, no deberá exceder lo establecido para  
un sistema de línea de vista similar, siempre y cuan-  
do ésto se cumpla sin costo excesivo, esto es:

1.- La potencia media en cualquier hora (potencia de  
ruido ponderada psfométricamente) no debe exce--  
der:

$$i) \quad 3 L + 200 \quad (\text{pW}) \quad \text{si} \quad 50 \leq L \leq 840 \quad (\text{Km})$$

$$ii) \quad 3 L + 400 \quad (\text{pW}) \quad \text{si} \quad 840 < L \leq 1670 \quad (\text{Km})$$

$$iii) \quad 3 L + 600 \quad (\text{pW}) \quad \text{si} \quad 1670 < L \leq 2500 \quad (\text{Km})$$

2.- La potencia media en un minuto para más del 20% -  
de cualquier mes, no debe exceder los valores da-  
dos en el inciso 1.

3.- La potencia media en un minuto no debe exceder -  
47500 pW para:

i) más del  $(280/2500)0.1\%$  de cualquier mes, si  
 $L \leq 280 \text{ Km}$ .

ii) más del  $(L/2500)0.1\%$  de cualquier mes, si -  
 $L > 280 \text{ Km}$ .

## B). CALIDAD II.

Cuando las recomendaciones para línea de vista no pue-  
den cumplirse se tiene, para un circuito hipotético -  
de 2500 Km de longitud, que:

1.- La potencia media ponderada durante un minuto no

deberá exceder 25,000 pW para más del 20% de cualquier mes

- 2.- La potencia media ponderada durante un minuto, no deberá exceder 63,000 pW para más del 0.5% de cualquier mes.
- 3.- La potencia de ruido no ponderada, considerando un tiempo de integración de 5 mseg, no deberá exceder de 1'000,000 pW, para más del 0.05% de cualquier mes.

Dado que el sistema no tiene una longitud fija, el CCIR en su Recomendación 396-1, párrafo 3 (Apéndice 2.b) indica que, si L es la longitud en kilómetros de una sección radioeléctrica objeto de estudio, el circuito hipotético de referencia deberá comprender 2500/L secciones de ese tipo en tándem, redondeando el cociente 2500/L al número entero más próximo. Por lo tanto, los porcentajes de tiempo variarán para las potencias de ruido especificadas, de la siguiente manera:

- 1.- Para el 20% se modifica el requisito de ruido empleando la gráfica que aparece en la Figura V.4.
- 2.- Para el 0.5% y el 0.01% el requisito de ruido se conserva, en este caso el porcentaje se modifica de la siguiente manera:

Porcentaje Permisible para el circuito de longitud L	=	$\frac{L}{2500}$	Porcentaje para el circuito de longitud 2500 Km
--	---	------------------	---

(\*)

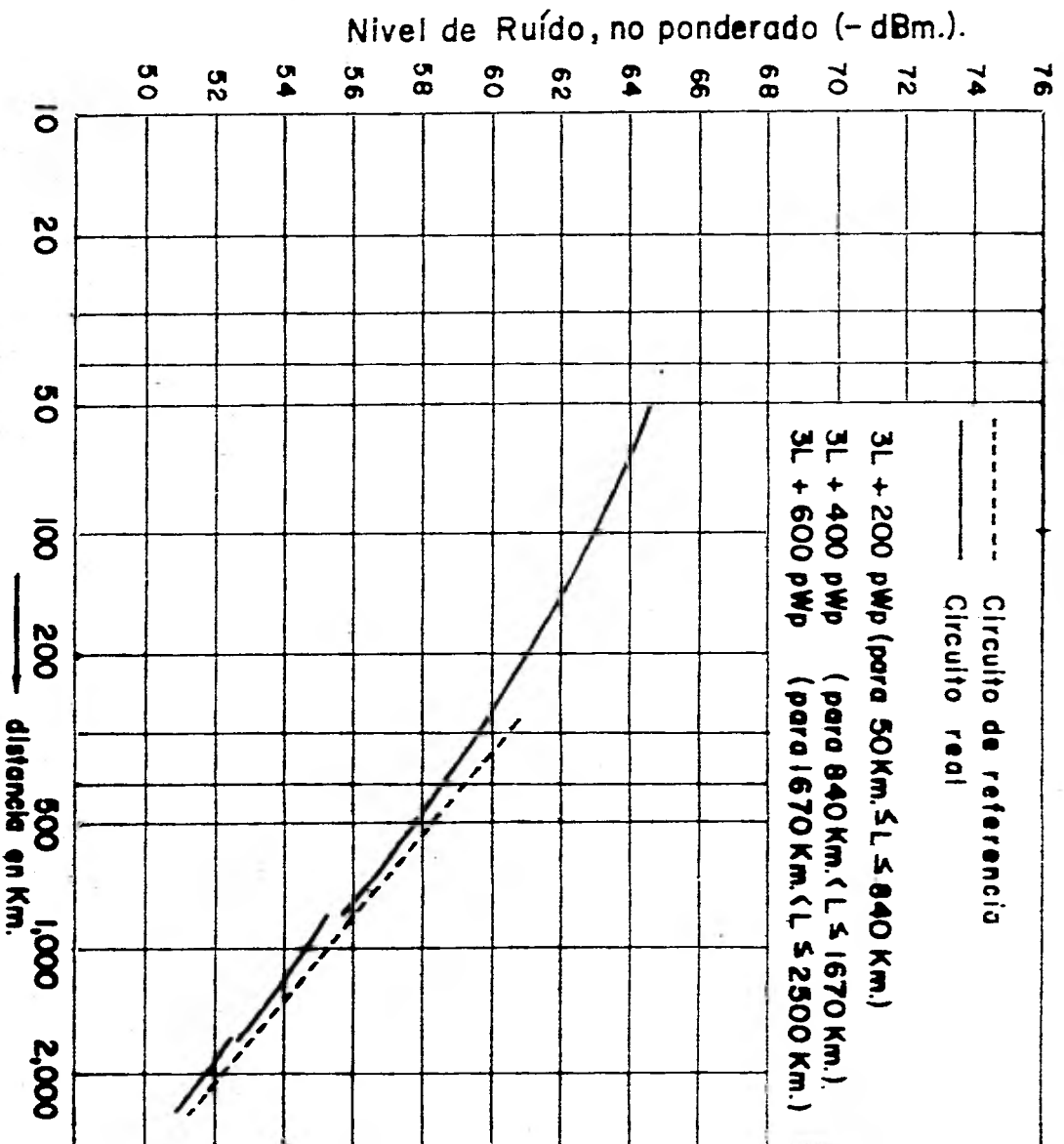
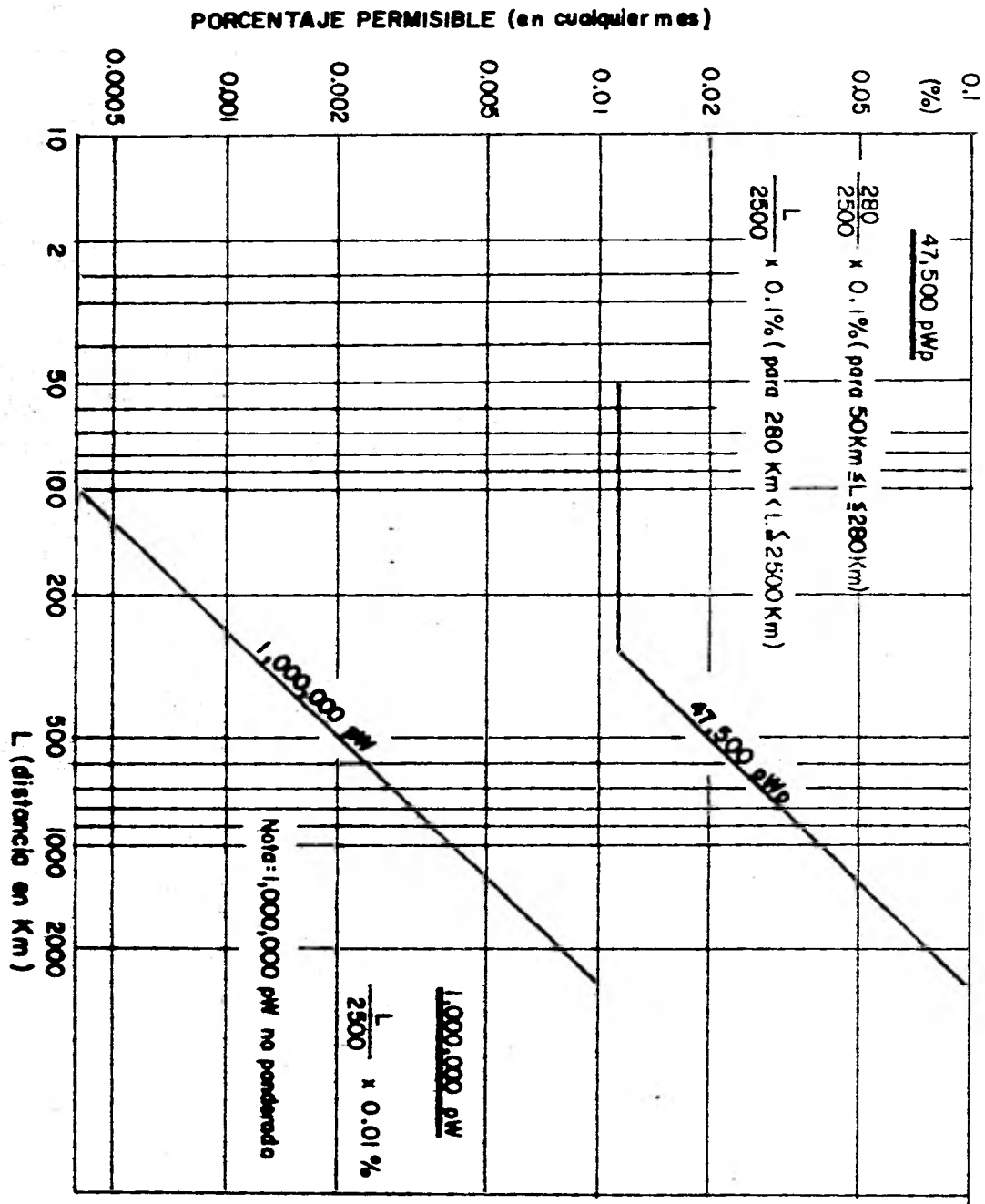


FIG. X. 1 :- Ruído permisible para la media horaria y el 20% del peor mes (CCIR REC. 393-1 y 395-1)



**FIG. I. 2 - PORCENTAJE PERMISIBLE PARA 47,500 pWP Y 1,000,000 pWP.  
(CCIR REC. 393-1 Y 395-1)**

$L$  = Distancia total del sistema en Km.

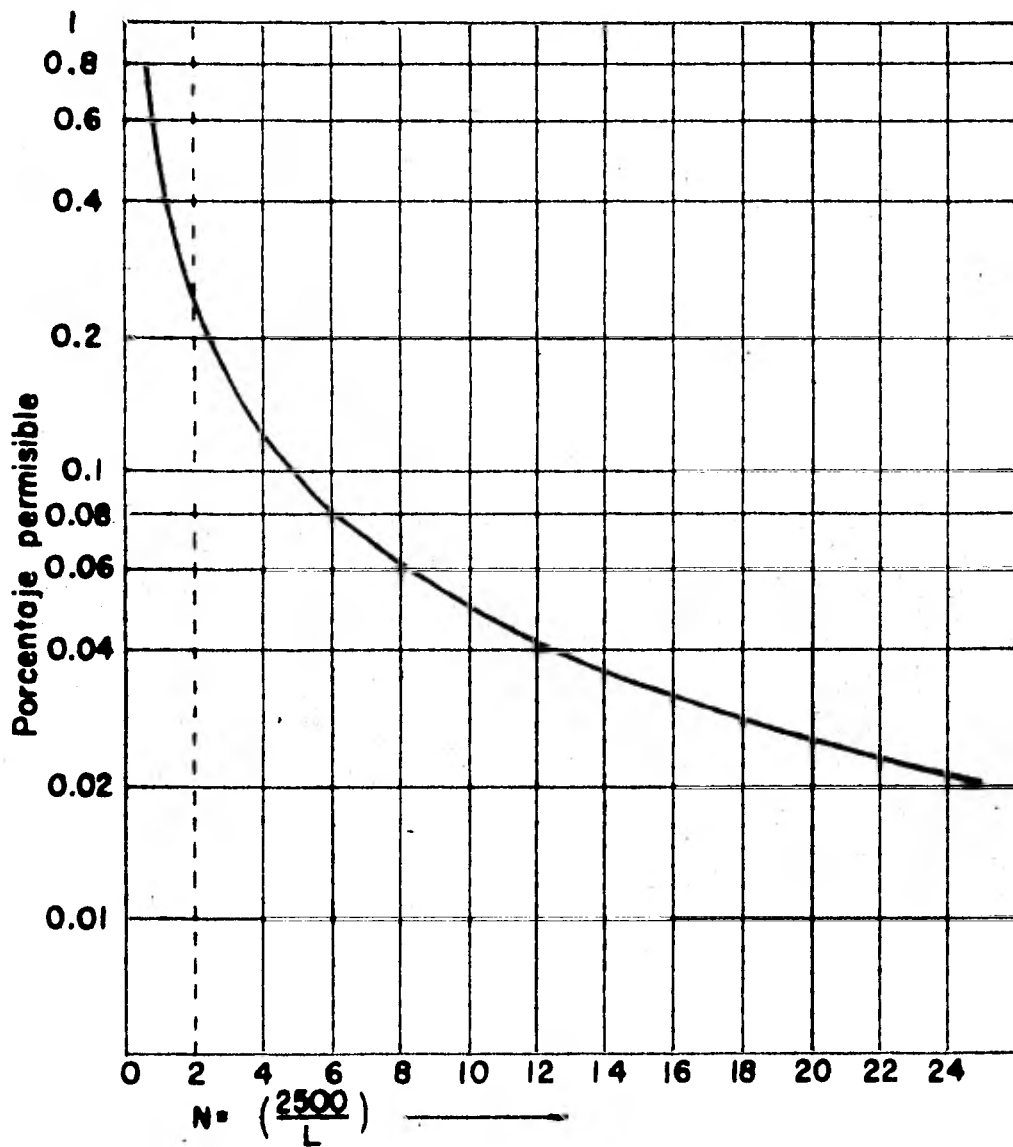


FIG. V. 3 - Porcentaje permisible para 63,000 pWp del peor mes (CCIR REC. 397-1)

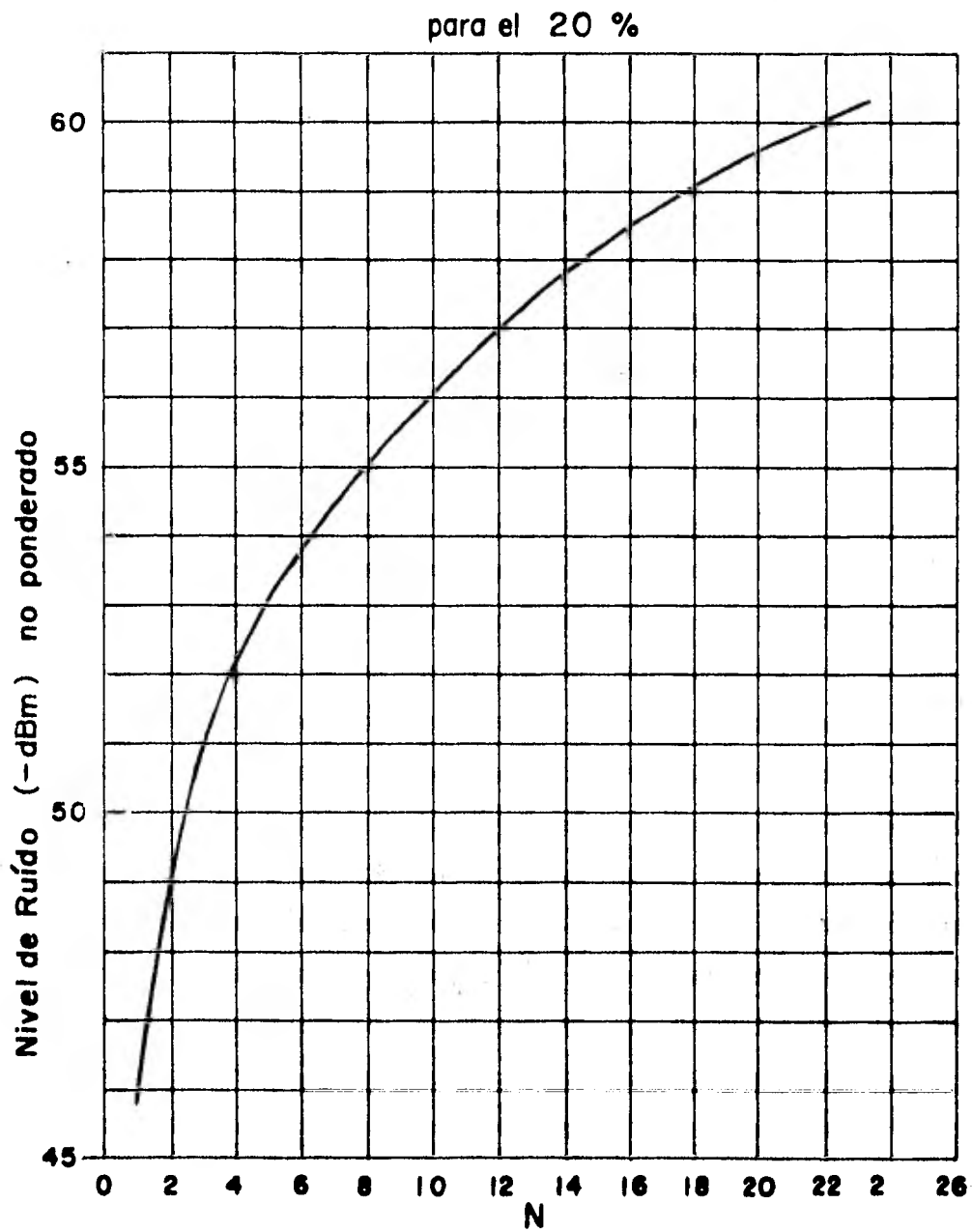


FIG. V. 4 :- Ruído permisible para el 20% del peor mes  
(Rec. CCIR 397-2)



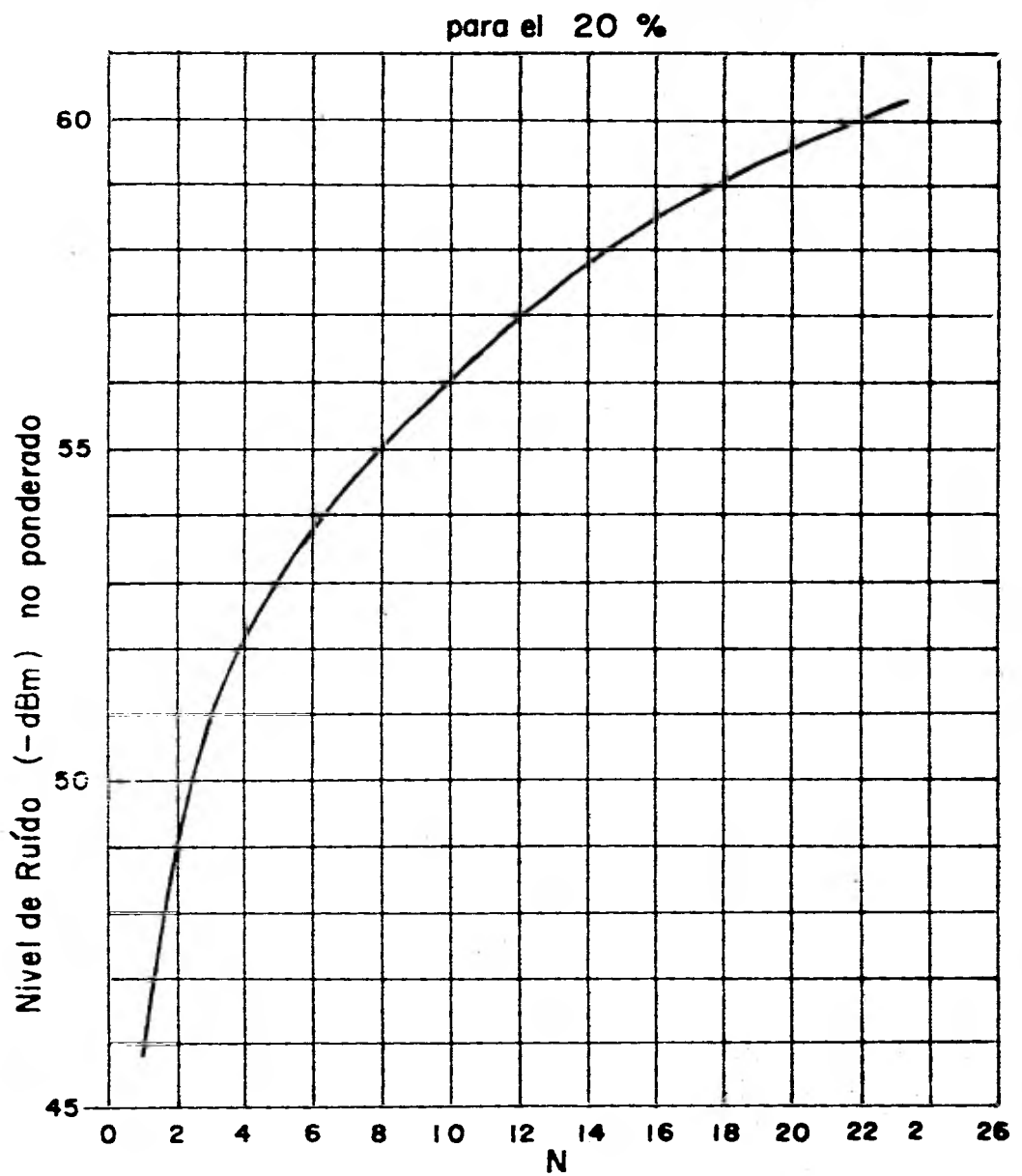


FIG.V. 4 - Ruído permisible para el 20 % del peor mes  
(Rec. CCIR 397-2)

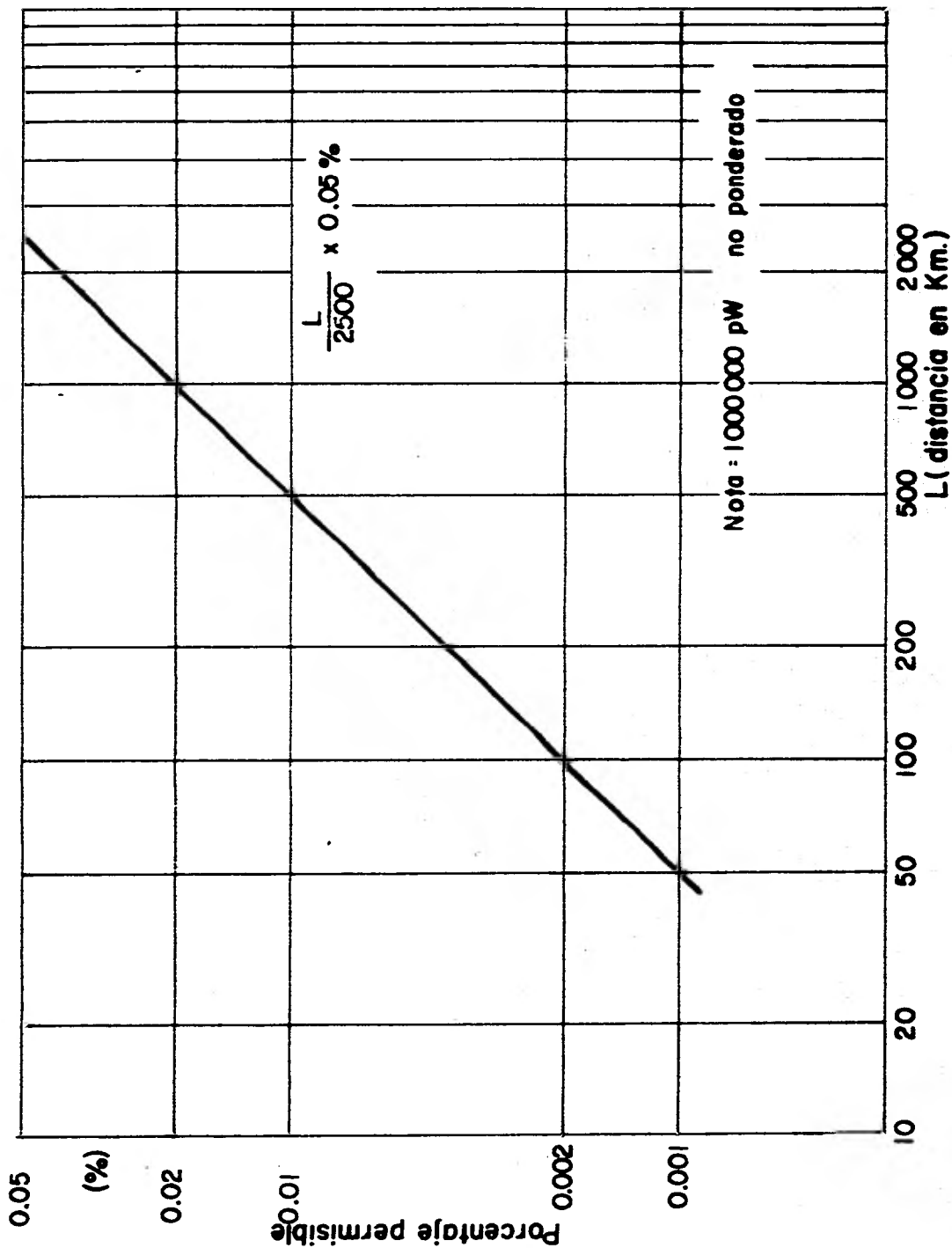


FIG. V.5 r Porcentaje permisible para 1000 000 pW . ( CCIR REC. 397-1 )

(\*) Para el caso de 63,000 pW el porcentaje es -  
0.5%.

La Figura V.5 está basada en la fórmula anterior.

### C). CONFIABILIDAD EN LA PROPAGACION.

La confiabilidad en la propagación depende del -  
porcentaje de tiempo que la señal recibida excede del  
nivel mínimo que permite la detección de la señal.

El porcentaje de confiabilidad puede predecirse -  
si se conoce el valor del máximo desvanecimiento per-  
misible y la característica compuesta de desvaneci--  
miento.

El valor del porcentaje de confiabilidad puede de-  
terminarse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Confiabilidad (\%)} = 100.0 - \frac{\text{Porcentaje de tiempo}}{\text{mínimo para el cual -}} \\ \text{la señal es detectada.}$$

y ésta depende del uso del sistema, por ejemplo:

- Voz: 98.00%
- Telegrafía: 99.99%(2 Bits de error en 10)
- Transmisión de Datos: 99.99%(1 bit de error en 10)

## V.2. CALCULO DEL SISTEMA.

Aquí indicaremos las fórmulas usadas en el cálculo de los parámetros del sistema, así como del comportamiento del ruido; dichas fórmulas se emplearon en el programa de computadora cuyo listado aparece en el Apéndice No. 1.

Para mayor facilidad en el desarrollo del cálculo del sistema, éste lo hemos dividido en tres partes principales.

Cálculo de:

- 1.- Pérdidas de Transmisión.
- 2.- Relación Señal a Ruido.
- 3.- Ruido Total en radio-enlaces con multi secciones (Tandem).

### V.2.1. PERDIDAS DE TRANSMISION.

Este cálculo se efectúa para cada uno de los enlaces que constituyen el sistema, usando las fórmulas que se citan en los siguientes incisos.

#### V.2.1.1. CALCULO DE LA POTENCIA RECIBIDA $P_r$ .

La potencia recibida ( $P_r$ ) se calcula empleando la fórmula que aparece a continuación:

$$P_r = P_t - L_s \quad (\text{dB}) \quad \text{V.}(1)$$

donde:

$P_t$  = Potencia Transmitida, en dBm.

$L_s$  = Pérdidas Totales del enlace, en dB.

Para nuestro caso los valores que emplearemos de  $P_t$ ,  
son:

10 Watts  
50 Watts  
100 Watts  
200 Watts  
250 Watts  
300 Watts  
500 Watts

Estos valores se deberán transformar a dBm para efectuar -  
la suma indicada en (1).

#### V.2.1.2. CALCULO DE LAS PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE $L_s$ .

Se usa la fórmula que a continuación aparece:

$$L_s = L_b + L_a - G_p \quad (\text{dB}) \quad \text{V.}(2)$$

donde:

$L_b$  = Pérdidas Básicas de Transmisión, en dB.

$L_a$  = Pérdidas en el sistema alimentador, en dB.

$G_p$  = Ganancia Antena - Trayecto, en dB.

De los parámetros citados, tanto  $L_b$  como  $G_p$  dependen  
de la trayectoria de propagación.

#### V.2.1.3. CALCULO DE LAS PERDIDAS BASICAS DE TRANSMISION $L_b$ .

Para este cálculo usaremos el Método NBS (National -

Bureau of Standards - Nota Técnica 101), ya que es el más completo, aunque resulta muy laborioso, por lo que es conveniente usar una computadora.

La fórmula usada es:

$$L_b = 30 \text{ Log } f - 20 \text{ Log } d + F(\theta d) - F_o + H_o - V(d_e) + A_a \quad \dots \text{ (dB)} \quad V.(3)$$

donde:

$f$  = Frecuencia, en MHz.

$d$  = Distancia del enlace, en Km.

$\theta$  = Angulo de dispersión, en radianes.

$F(\theta d)$  = Función de Atenuación, en dB.

$F_o$  = Corrección de eficiencia de dispersión, en dB.

$H_o$  = Función de ganancia de frecuencia, en dB.

$A_a$  = Absorción atmosférica, en dB.

$V(d_e)$  = Factor de corrección por efecto del clima, dB.

$d_e$  = Distancia Efectiva, en Km.

### 3.A. FRECUENCIA DE OPERACION $f$

Existen tres bandas de operación que se emplean - en los enlaces por dispersión troposférica, que son:

1.- 1700 MHz a 1900 MHz,  $f_o = 1808$  MHz.

2.- 1900 MHz a 2100 MHz,  $f_o = 2000$  MHz.

3.- 2100 MHz a 2300 MHz,  $f_o = 2203$  MHz.

En nuestro caso usaremos la banda de 2000 MHz.

### 3.B. CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS $d$ .

Para este cálculo usaremos el Método de la NBS, el cual ya fue explicado en el Capítulo II, para el cálculo de la distancia de cada uno de los enlaces.

### 3.C. CALCULO DE LA DISTANCIA A LOS HORIZONTES $d_{Lt,Lr}$

Para el cálculo de la distancia desde el sitio de transmisión y recepción a sus respectivos horizontes, se usa la fórmula (4) para el caso de Tierra Plana.

$$d_{Lt,Lr} = \sqrt{2 a h_{to,ro}} \quad (\text{Km}) \quad \text{V. (4)}$$

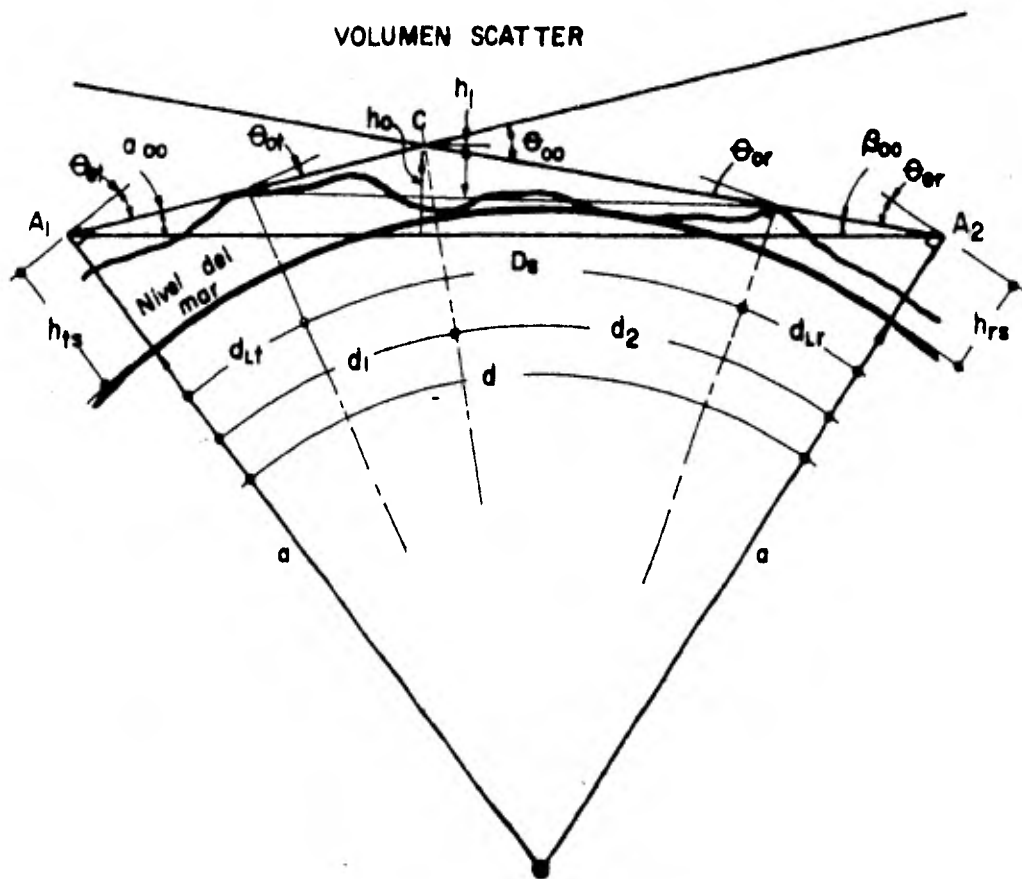
donde:

$h_{to,ro}$  = altura sobre el nivel del mar del sitio de transmisión y recepción, respectivamente, en Km.

$a$  = radio terrestre efectivo, en Km.

En caso de no tratarse de tierra plana, los puntos ( $d_{Lt}, h_{Lt}$ ) y ( $d_{Lr}, h_{Lr}$ ) que representan los radiohorizontes a los obstáculos de transmisión y recepción (distancia y altura SNM de obstáculo), respectivamente, deberán ser determinados a partir del perfil topográfico del enlace, considerando edificios altos, bosques o montañas que existan en la trayectoria de propagación. (Ver Figura V.7)

Para nuestro caso se usa la fórmula (4).



$$\theta_{oo} = \frac{D_s}{a} + \theta_{ot} + \theta_{or} = \frac{d}{a} + \theta_w + \theta_w$$

FIG. V. 6 - GEOMETRIA DE TRAYECTORIA .



### 3.D. CALCULO DEL RADIO TERRESTRE EFECTIVO $a$ .

El radio terrestre efectivo ( $a$ ), está dado -  
por la siguiente expresión:

$$a = a_0 \left[ 1 - 0.04665 \exp(0.005577 N_s) \right]^{-1} \quad (\text{Km})$$

... V.(5)

donde:

$a_0$  = radio terrestre real = 6370 Km.

$N_s$  = refractividad atmosférica en la superficie  
de la tierra.

### 3.E. CALCULO DE LA REFRACTIVIDAD ATMOSFERICA EN LA SUPERFICIE $N_s$ .

La pérdida de transmisión está en función del valor del gradiente de refractividad ( $\Delta N$ ), -referirse al Capítulo IV-, por lo que este factor es muy importante en el cálculo de dicha pérdida.

El valor de  $\Delta N$  está generalmente correlacionado con el valor de la refractividad en la superficie terrestre ( $N_s$ ), y la relación entre ambos valores es:

$$\Delta N/\text{Km} = -7.32 \exp(0.005577 N_s) \quad \text{V.(6)}$$

La fórmula (6) podrá ser usada para calcular  $\Delta N$  - en el caso de que se disponga de los datos meteorológicos en la superficie. Sin embargo, cuando no se dispone de los datos meteorológicos de los lugares, - el cálculo de  $\Delta N$  y  $N_s$  es imposible. Para esto, se usa el índice de refractividad al nivel del mar ( $N_0$ ) indicado por el CCIR en el Reporte No. 233-2, y  $\Delta N$  y

$N_s$  pueden estimarse para cualquier sitio empleando la siguiente fórmula:

$$N_s = N_o \exp(-0.1057 h) \quad v.(7)$$

donde:

$h$  = altura de la superficie sobre el nivel -  
del mar en Km.

Dado que la mayor parte de la refracción de las ondas de radio se lleva a cabo a bajas alturas, deberán determinarse  $N_o$  y  $h$  para los sitios que correspondan a la elevación más baja de las ondas de radio en la geometría de la trayectoria de propagación. Como un caso práctico, para trayectorias dentro del horizonte,  $h$  se define como la altura del terreno inmediatamente abajo de la terminal de antena más baja, y  $N_o$  se determina en el mismo sitio. Para trayectorias -- más allá del horizonte,  $h$  y  $N_o$  son determinadas en los radio-horizontes a lo largo de la trayectoria del perfil topográfico, y  $N_s$  es el promedio de los valores calculados de la ecuación (7). Una excepción a esta regla ocurre en el caso de que la antena está a más de 150 metros abajo de su radio-horizonte; en este caso,  $h$  y  $N_o$  deberán determinarse en la ubicación de la antena.

Para considerar el peor valor de  $N_s$ , éste generalmente se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_s = \frac{N_s(h_t) + N_s(h_r) + N_s(h_{Lt}) + N_s(h_{Lr})}{4} \quad v.(8)$$

donde:

$h_t$  = elevación sobre el nivel del mar de la -  
antena transmisora

$h_r$  = elevación sobre el nivel del mar de la -  
antena receptora.

$h_{Lt}$  = altura SNM del radio-horizonte de la an-  
tena transmisora.

$h_{Lr}$  = altura SNM del radio-horizonte de la an-  
tena receptora.

### 3.F. CALCULO DE LAS ALTURAS EFECTIVAS DE ANTENA $h_{te, re}$

Si una antena se encuentra instalada sobre -  
una estructura o en una montaña, la altura de dicha -  
estructura o montaña que sobresale del terreno que la  
rodea, deberá incluirse como parte de la altura de la  
antena.

Para determinar esta altura efectiva, es necesaa--  
rio obtener antes la Altura Promedio ( $\bar{h}_t$ ) sobre el ni-  
vel del mar, del terreno localizado entre el punto -  
transmisor y su horizonte, lo cual se logra dividiend-  
do el terreno antes mencionado en 31 partes iguales y  
se toman las alturas de las 25 divisiones centrales,  
las cuales equivalen al 80% del total de 31 divisio--  
nes, de otra manera:

$$\bar{h}_t = \frac{1}{25} \sum_{i=3}^{27} h_{ti} \quad V.(9)$$

$$h_t = h_{ts} - \bar{h}_t \quad \text{si } \bar{h}_t < h_{to}$$

$$h_t = h_{ts} - h_{to} \quad \text{si } \bar{h}_t \geq h_{to}$$

donde:

$h_{ts}$  = altura sobre el nivel del mar de la antena transmisora, en Km.

$h_{to}$  = altura sobre el nivel del mar del sitio donde se instalará la antena, en Km.

si  $h_t < 1$  Km, entonces  $h_{te} = h_t$

si  $h_t \geq 1$  Km, entonces es necesario usar un factor de corrección  $\Delta h_e$ , el cual es función de  $h_t$  y  $N_s$ .

$$h_{te} = h_t - \Delta h_e(h_t, N_s)$$

Para encontrar la altura efectiva de la antena receptora se procede de la misma manera.

Cuando se tiene tierra plana con  $h_{te} < 1$  Km y  $h_{re} < 1$  Km, se cumplen en forma aproximada las siguientes relaciones entre las alturas efectivas de antena y las distancias al horizonte:

$$h_{te} = \frac{d_{Lt}^2}{2a} \quad \text{V.(10)}$$

$$h_{re} = \frac{d_{Lr}^2}{2a} \quad \text{V.(11)}$$

En nuestro caso  $h_t$  no rebasa en ningún sitio ni siquiera los 50 metros de altura sobre el nivel del mar.

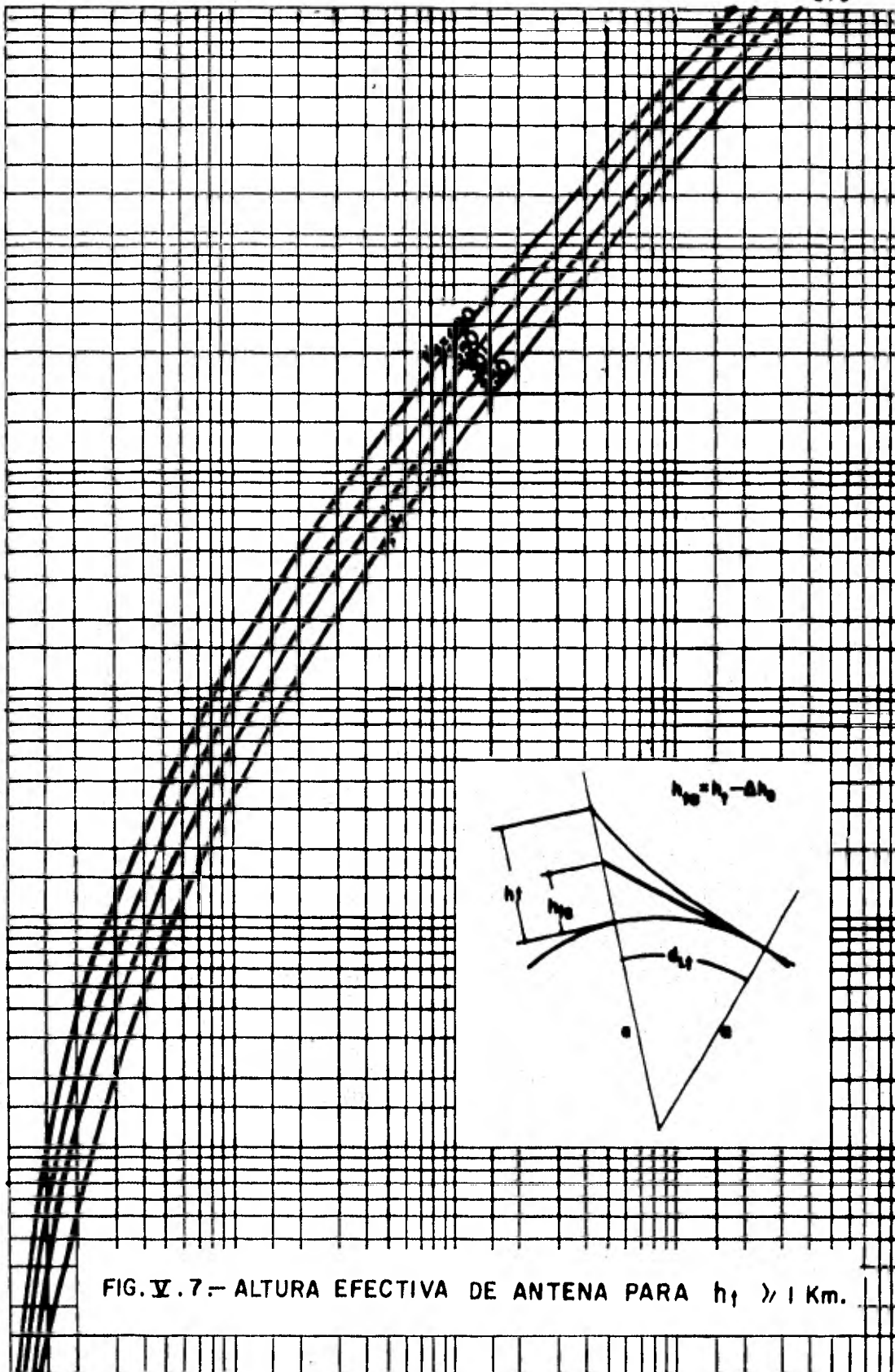


FIG. V. 7.— ALTURA EFECTIVA DE ANTENA PARA  $h_f \gg 1$  Km.

### 3.G. CALCULO DEL ANGULO DE DISPERSION $\theta$ .

Antes es necesario calcular los ángulos  $\theta_{et}$  y  $\theta_{er}$ , que son los que indican el grado de elevación o decrecimiento del haz de microondas, con respecto a la horizontal.

Para el cálculo de  $\theta_{et}$  y  $\theta_{er}$  se usará la siguiente fórmula:

$$\theta_{et} = \frac{h_{Lt} - h_{ts}}{d_{Lt}} - \frac{d_{Lt}}{2a} \quad (\text{rad}) \text{ V. (12)}$$

$$\theta_{er} = \frac{h_{Lr} - h_{rs}}{d_{Lr}} - \frac{d_{Lr}}{2a} \quad (\text{rad}) \text{ V. (13)}$$

donde:

$h_{Lt}, h_{Lr}$  = alturas SNM de los horizontes del transmisor y receptor, respectivamente, Km.

$a$  = radio efectivo terrestre, en Km.

$h_{ts}, h_{rs}$  = distancia desde las antenas transmisora y receptora a sus respectivos horizontes, en Km.

En el punto del horizonte la elevación angular, - el ángulo  $\theta_{ot}$  y  $\theta_{or}$  del haz, es mayor que el ángulo - de elevación horizontal  $\theta_{et}$  y  $\theta_{er}$ , cumpliéndose que:

$$\theta_{ot} = \theta_{et} + \frac{d_{Lt}}{a} \quad (\text{rad}) \text{ V. (14)}$$

$$\theta_{or} = \theta_{er} + \frac{d_{Lr}}{a} \quad (\text{rad}) \text{ V. (15)}$$

El siguiente cálculo es el de los ángulos  $\alpha_{oo}$  y  $\beta_{oo}$ , por medio de las siguientes fórmulas:

$$\alpha_{oo} = \frac{d}{2a} + \theta_{et} + \frac{h_{ts} - h_{rs}}{d} \quad (\text{rad}) \text{ V. (16)}$$

$$\beta_{oo} = \frac{d}{2a} + \theta_{er} + \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} \quad (\text{rad}) \text{ V. (17)}$$

donde:

$\alpha_{oo}, \beta_{oo}$  = ángulo que forman el haz de microondas y la línea recta que une las antenas - transmisora y receptora, respectivamente, en radianes.

$d$  = distancia del enlace, en Km.

Los demás parámetros ya fueron definidos anteriormente.

Con el fin de evitar los efectos de un gradiente de refractividad no lineal, se corrigen los valores de  $\alpha_{oo}$  y  $\beta_{oo}$  por medio de los factores  $\Delta\alpha_o$  y  $\Delta\beta_o$ , y se obtiene lo siguiente:

$$\alpha_o = \alpha_{oo} + \Delta\alpha_o \quad (\text{rad}) \text{ V. (18)}$$

$$\beta_o = \beta_{oo} + \Delta\beta_o \quad (\text{rad}) \text{ V. (19)}$$

Con estos valores ya podemos calcular el ángulo  $\theta$ , de la siguiente manera:

$$\theta = \alpha_o + \beta_o \quad (\text{rad}) \text{ V. (20)}$$

$$s = \alpha_o / \beta_o \quad (\text{rad}) \text{ V. (21)}$$

donde:

$s$  = factor de simetría de la trayectoria.

además:

$$d_{st} = \frac{d \beta_{oo}}{\theta_{oo}} - d_{Lt} \quad (\text{Km}) \quad \text{V.}(22)$$

$$d_{sr} = \frac{d \alpha_{oo}}{\theta_{oo}} - d_{Lr} \quad (\text{Km}) \quad \text{V.}(23)$$

donde:

$d_{st}$  = distancia desde el horizonte del transmisor al punto donde se cruzan los haces transmisor y receptor, en Km.

$d_{sr}$  = distancia desde el horizonte del receptor al punto donde se cruzan los haces transmisor y receptor, en Km.

$\theta_{oo} = \alpha_{oo} + \beta_{oo}$  (rad) = ángulo que forman los haces transmisor y receptor.

También obtenemos la distancia entre horizontes  $D_s$ :

$$D_s = d - d_{Lt} - d_{Lr} \quad (\text{Km}) \quad \text{V.}(24)$$

La Figura V.8 se trazó para  $N_s = 301$ , y muestra  $\Delta\alpha_o$  en función de  $\theta_{or}$  y  $d_{sr}$ . Para valores de  $N_s$  distintos de 301, el valor que se lee en la Figura se multiplica por  $C(N_s)$ ; en la Figura V.9 se muestra a  $C(N_s)$ .

$$\Delta\alpha_o(N_s) = C(N_s) \Delta\alpha_o(301) \quad \text{V.}(25.a)$$

$$\Delta\beta_o(N_s) = C(N_s) \Delta\beta_o(301) \quad \text{V.}(25.b)$$

$$C(N_s) = (1.3 N_s^2 - 60 N_s) \times 10^{-5} \quad \text{V.}(26)$$



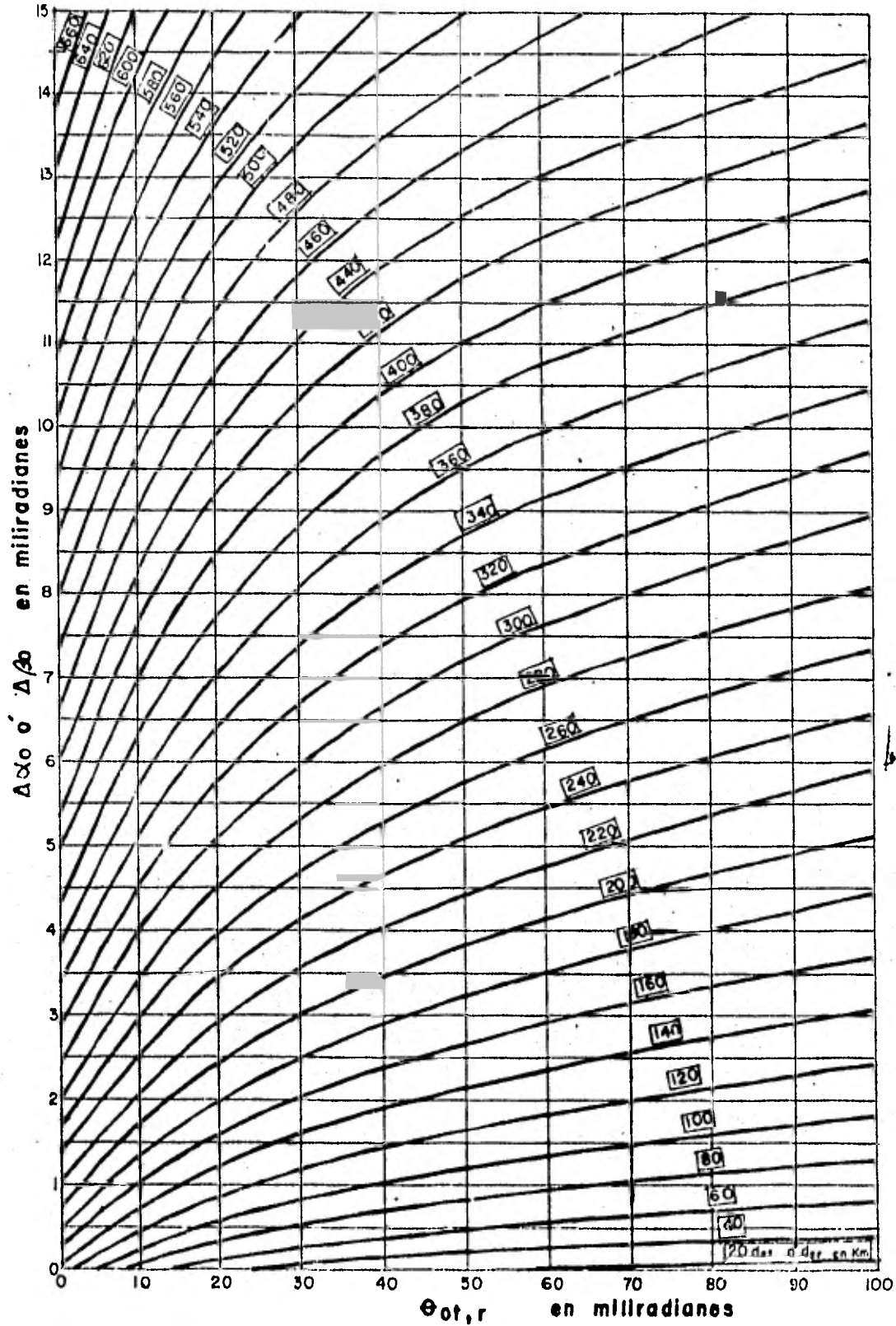


FIG.V.8.- FACTORES DE CORRECCION  $\Delta\alpha_0, \Delta\beta_0$   
 PARA  $H_s = 301$

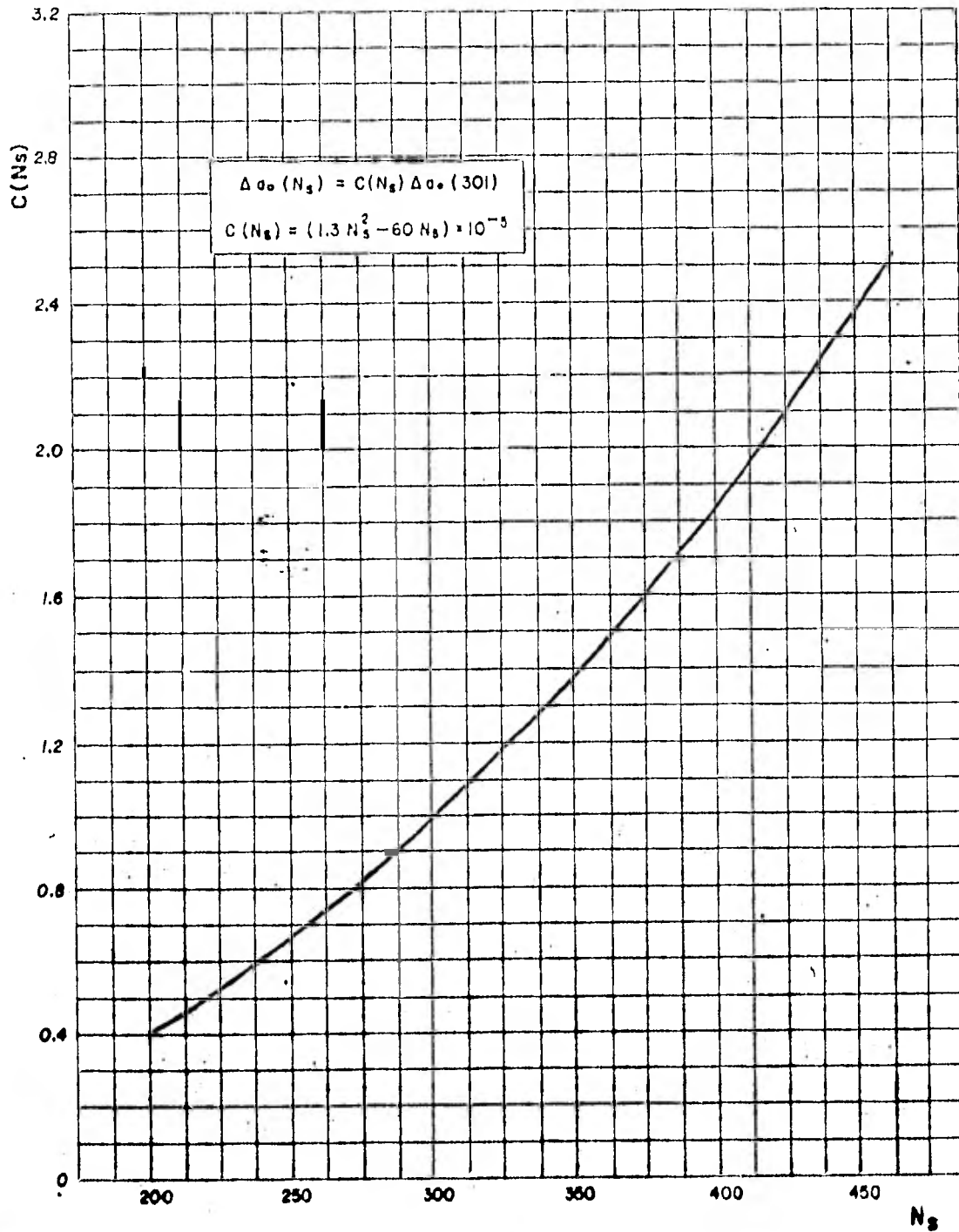


FIG. 9 - EL COEFICIENTE  $C(N_g)$ .

### 3.H. CALCULO DE LA FUNCION DE ATENUACION $F(\theta d)$ .

Esta función depende de la trayectoria de propagación y de la refractividad  $N_s$ .

Para la mayoría de los enlaces la Figura V.10 puede ser usada, donde  $F(\theta d)$  se determina en función del valor de  $(d)$  para  $N_s = 250, 301, 350$  y  $400$ . La distancia  $(d)$  está expresada en kilómetros y el ángulo  $\theta$  está en radianes.

La función  $F(\theta d)$  puede obtenerse para cualquier valor calculado para  $N_s = 301$  por medio de la siguiente expresión:

$$F(\theta d, N_s) = F(\theta d, N_s = 301) - 0.1(N_s - 301) e^{-\frac{\theta d}{40}} \dots V.(27)$$

o bien empleando la Figura V.11.

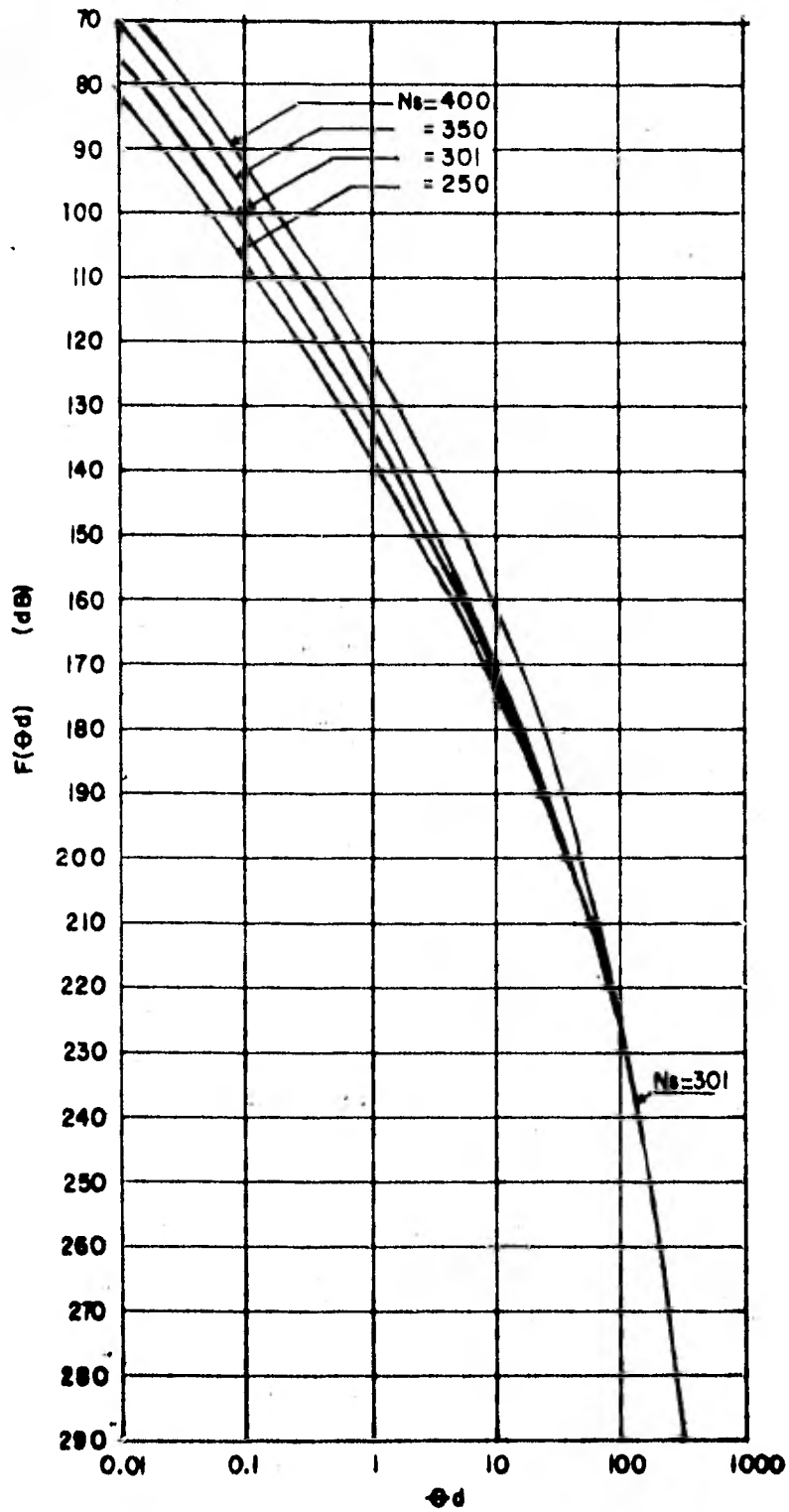
### 3.I. CALCULO DE LA FUNCION DE GANANCIA $H_o$ .

Esta función se calcula usando gráficas, las cuales están en función de las alturas efectivas de antena relacionadas con la longitud de onda, de la simetría de la trayectoria y del parámetro  $\eta_s$ , como a continuación se define:

$$\eta_s = 0.5695 h_o \left[ 1 + (0.031 - 2.32N_s \times 10^{-3} + \dots + 5.67N_s^2 \times 10^{-6}) \exp(-3.8h_o^6 \times 10^{-6}) \right] \quad V.(28)$$

donde:

$$h_o = s d \theta / (1 + s)^2 \quad (\text{Km}) \quad V.(29)$$

FIG. 7.10.- La función de atenuación  $F(\phi d)$ .

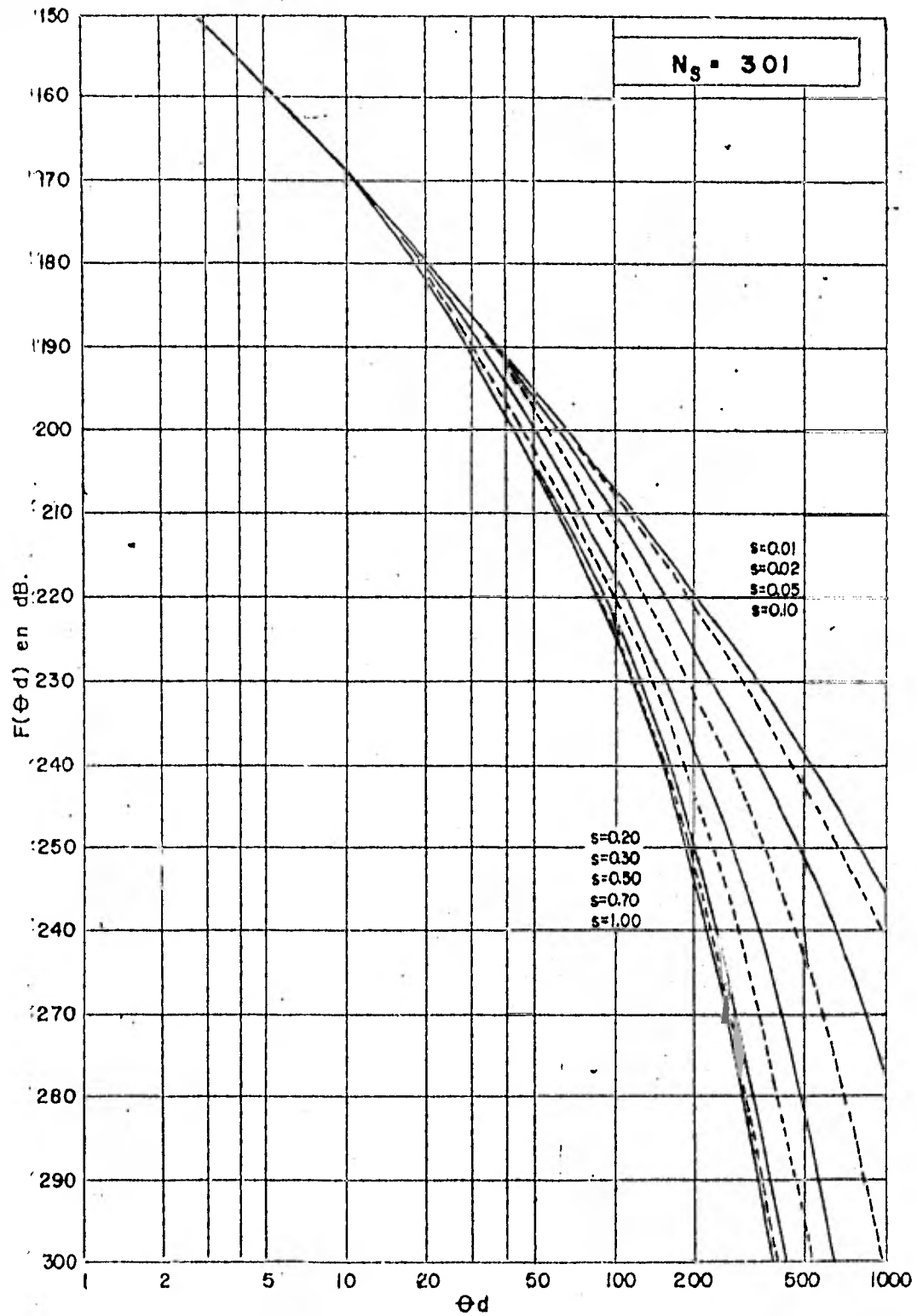


FIG. V.II - La función  $F(\theta d)$  para  $N_s = 301$ .

$d$  = longitud del arco que separa las antenas,  
en Km.

$\theta$  = ángulo de dispersión en radianes.

$s = \alpha_0 / \beta_0$

$$r_1 = \frac{4\pi \theta h_{te}}{\lambda} \quad (\text{rad}) \quad \text{V.}(30)$$

$$r_2 = \frac{4\pi \theta h_{re}}{\lambda} \quad (\text{rad}) \quad \text{V.}(31)$$

$\lambda$  = longitud de onda, en Km.

Pero dependiendo del valor de  $\eta_s$ , se presentan dos casos:

a). Cuando  $\eta_s \geq 1$  :

En este caso se buscan los valores de  $H_0(r_1)$  y de  $H_0(r_2)$  en la Figura V.12 (en función de  $r_1$  y  $r_2$ , respectivamente), y resultan tres casos dependiendo del valor de  $\Delta H_0$ , el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta H_0 = 6(0.6 - \text{Log } \eta_s) \text{Log } s \text{Log } q \quad \text{V.}(32)$$

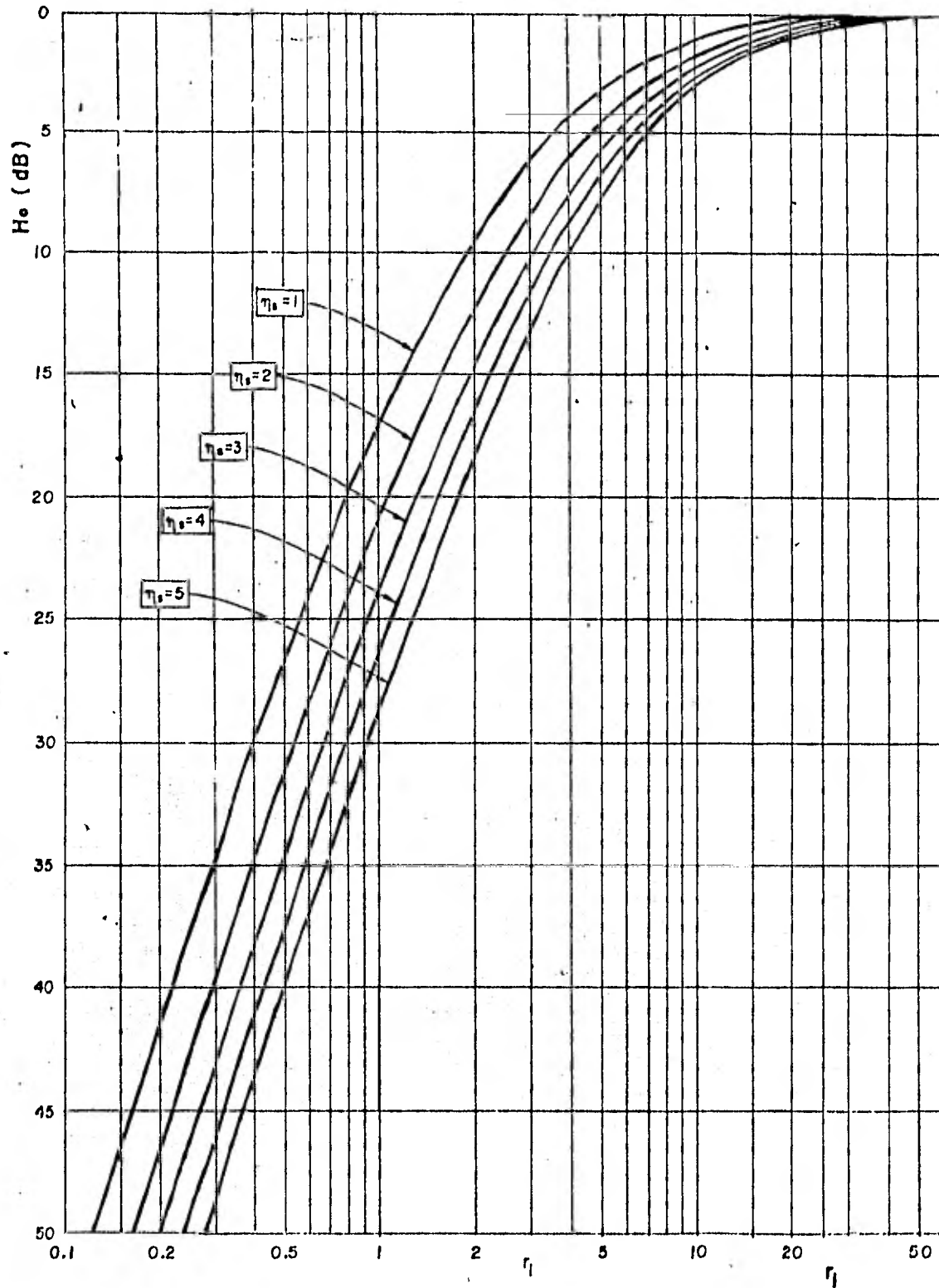
donde:

$$q = \frac{r_2}{sr_1}$$

CASO 1 :

si  $\Delta H_0 \geq (H_0(r_1) + H_0(r_2)) / 2$  entonces la fórmula que se usará es:

$$H_0 = H_0(r_1) + H_0(r_2) \quad \text{V.}(33)$$

FIG.X.12- FUNCION GANANCIA DE FRECUENCIA  $H_0$ .

CASO 2 :

si  $\Delta H_o < (H_o(r_1) + H_o(r_2)) / 2$  entonces la fórmula a usar es:

$$H_o = \frac{H_o(r_1) + H_o(r_2)}{2} + \Delta H_o \quad \text{V. (34)}$$

CASO 3 :

si el valor de  $\Delta H_o$  vuelve negativo al valor de  $H_o$ , entonces deberá usarse:

$$H_o = 0$$

b). Cuando  $\eta_s < 1$  :

En este caso primero deberá buscarse el valor o valores de  $H_o$  para  $\eta_s = 1$ , como en el caso (a), y para  $\eta_s = 0$  en la Figura V.13, pero con la siguiente diferencia:

$$\Delta H_o = 3.6(\text{Log } s \times \text{Log } q) \quad \text{V. (35)}$$

y entonces:

$$H_o = H_o(\eta_s=0) + \eta_s \left[ H_o(\eta_s=1) - H_o(\eta_s=0) \right] \quad \dots \text{V. (36)}$$

### 3.J. CALCULO DE LA CORRECCION DE EFICIENCIA DE DISPERSION $F_o$ .

La fórmula usada para este cálculo es la siguiente:



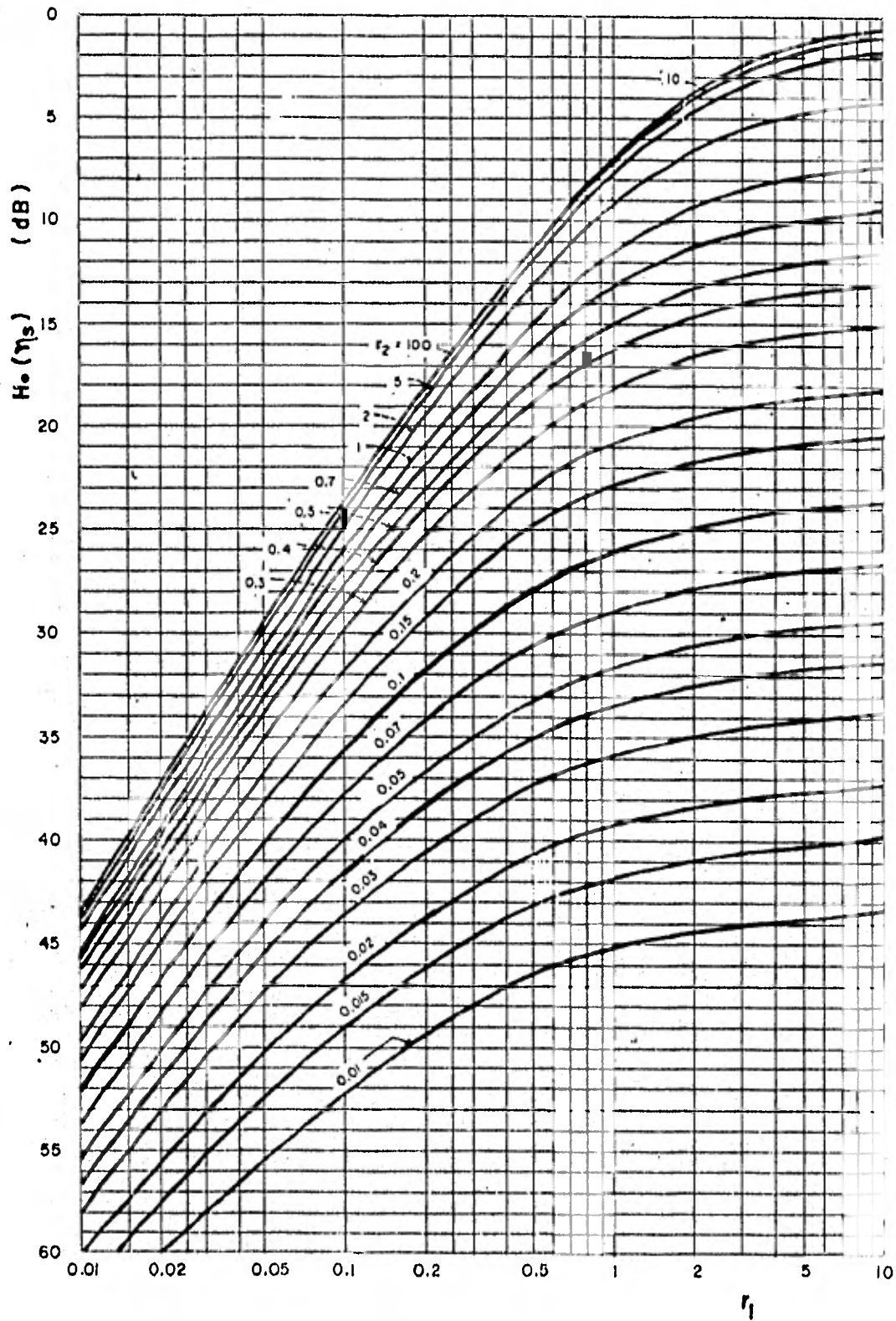


FIG.X.13- FUNCION GANANCIA DE FRECUENCIA  $H_0$  PARA  $\eta_s = 0$

$$F_o = 1.086 \frac{\eta_s}{h_o} (h_o - h_1 - h_{Lr}) \quad (\text{dB}) \quad \text{V. (37)}$$

donde:

$$h_1 = s D_s \frac{\theta}{(1+s)^2} \quad (\text{rad}) \quad \text{V. (38)}$$

$$D_s = d - d_{Lt} - d_{Lr} \quad (\text{Km}) \quad \text{V. (39)}$$

$h_o$  ya fue definida en la expresión (29) de este capítulo, al igual que,

$\eta_s$  definida en la expresión (28).

$h_{Lt}$ ,  $h_{Lr}$  = alturas de los horizontes, en Km.

$d_{Lt}$ ,  $d_{Lr}$  = distancias desde las antenas a sus respectivos horizontes, en Km.

$D_s$  = distancia entre horizontes, en Km.

### 3.K. CALCULO DE LA ABSORCION $A_a$ .

A frecuencias superiores a los 2 GHz la atenuación de las ondas de radio debida a la absorción causada por los elementos que constituyen a la atmósfera afecta seriamente a los enlaces de microondas. A frecuencias inferiores a 1 GHz, la absorción causada por el oxígeno y el vapor de agua en trayectorias de 1,000 - kilómetros o menores no excede de 2 dB. La absorción debida a la lluvia empieza a ser apenas perceptible a frecuencias entre los 2 y 3 GHz, y es apreciable a mayores frecuencias.

Para el rango de frecuencias que usaremos en este

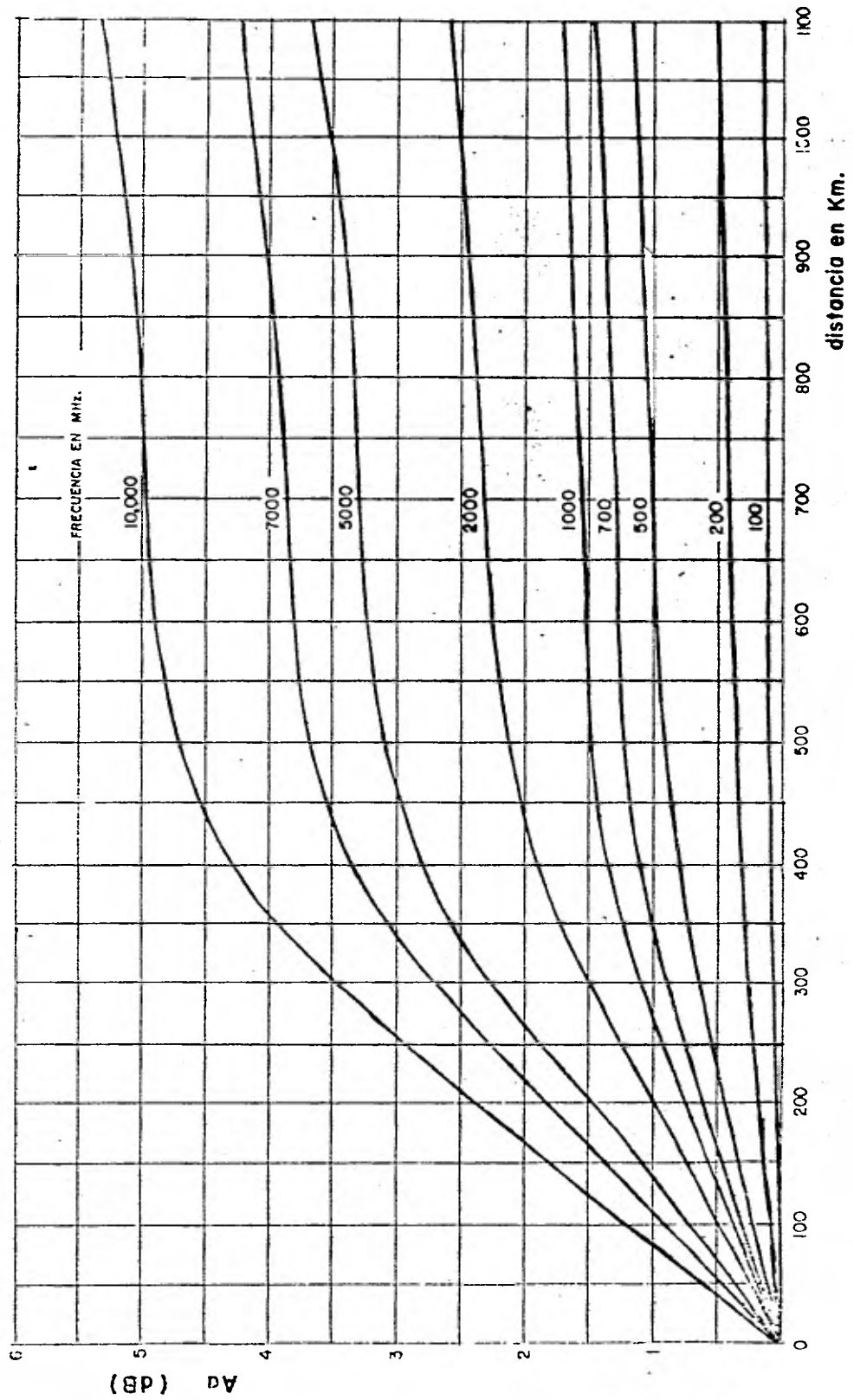


FIG. 1.14.- CURVAS DE ABSORCION

trabajo, la absorción  $A_a$  (expresada en dB) puede calcularse en función de la distancia ( $d$ ) y la frecuencia ( $f$ ), usando la Figura V.14.

### 3.L. CALCULO DE LA DISTANCIA EFECTIVA DEL ENLACE $d_e$ .

La distancia efectiva ( $d_e$ ) del enlace se determina de la siguiente manera:

$$a). d_e = 130 \frac{d}{d_L + d_{s1}} \quad (\text{Km}); \quad \text{si } d \leq (d_L + d_{s1}) \quad (\text{Km})$$

...V.(40)

$$b). d_e = 130 + d - (d_L + d_{s1}) \quad (\text{Km}); \quad \text{si } d > (d_L + d_{s1})$$

...(Km) V.(41)

donde:

$$d_{s1} = 65 \left( \frac{100}{f} \right)^{1/3} \quad (\text{Km}) \quad \text{V.(42)}$$

$$d_L = 30 \sqrt{20 h_{te}} + 30 \sqrt{20 h_{re}} \quad (\text{Km}) \quad \text{V.(43)}$$

donde:

$f$  = frecuencia de operación, en MHz.

$d$ ,  $h_{te}$  y  $h_{re}$  están expresadas en Km.

### 3.M. CALCULO DEL FACTOR DE CORRECCION POR EFECTO DEL CLIMA $V(d_e)$ .

Para calcular el Factor de Corrección por Efecto del Clima  $V(d_e)$  se aplica la siguiente fórmula:

$$V(d_e) = C_1 d_e^{n_1} - f_2(d_e) e^{-C_2} d_e^{n_2} + f_2(d_e)$$

... V.(44)

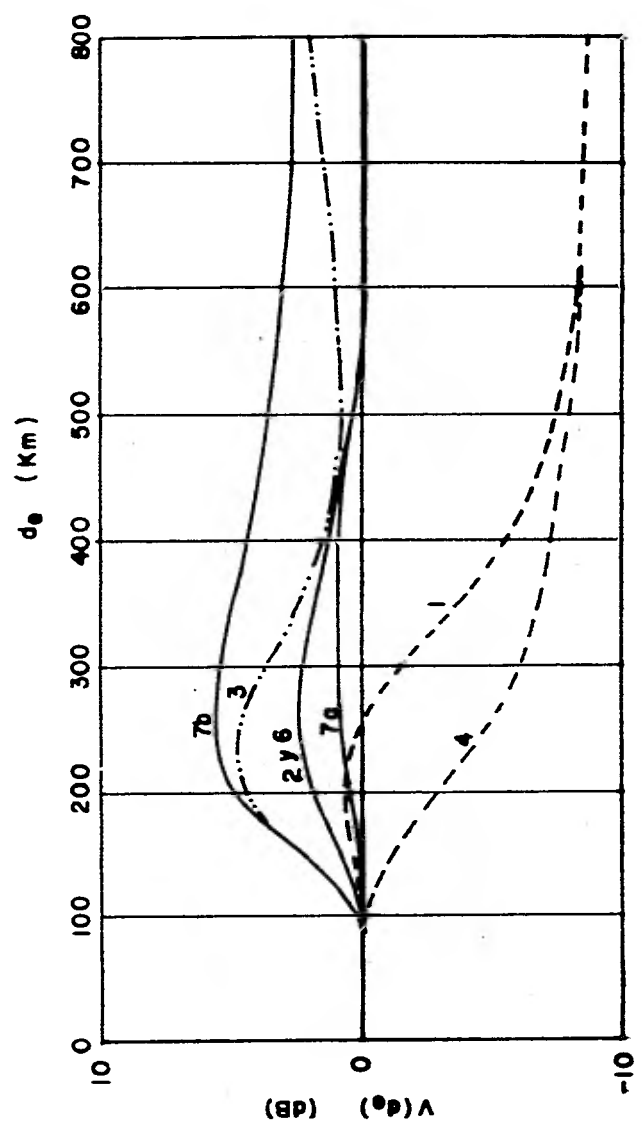


FIG. 2.15.— La función  $V(d_0)$  para los tipos de clima indicados en las curvas.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$f_m$	$f_\infty$
Clima 1	$1.59 \times 10^{-5}$	$1.56 \times 10^{-11}$	$2.77 \times 10^{-8}$	2.32	4.08	3.25	3.9	0
Clima 2	$1.12 \times 10^{-4}$	$1.26 \times 10^{-20}$	$1.17 \times 10^{-11}$	1.68	7.30	4.41	1.7	0
Clima 3	$1.18 \times 10^{-4}$	$3.33 \times 10^{-13}$	$3.82 \times 10^{-9}$	2.06	4.60	3.75	7.0	3.2
Clima 4	$1.09 \times 10^{-4}$	$5.89 \times 10^{-18}$	$2.21 \times 10^{-7}$	2.06	6.81	2.97	5.8	2.2
Clima 5	$8.85 \times 10^{-7}$	$2.76 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-12}$	2.80	4.82	4.78	8.4	8.2
Clima 6	$3.45 \times 10^{-7}$	$3.74 \times 10^{-12}$	$6.97 \times 10^{-8}$	2.97	4.43	3.14	1.2	-8.4
Clima 7	$1.59 \times 10^{-5}$	$1.56 \times 10^{-11}$	$2.77 \times 10^{-8}$	2.32	4.08	3.25	3.9	0

NOTA: Estos valores fueron tomados del volumen II del manual de la NBS (Nota Técnica 101)

TABLA V.1

Constantes para calcular  $V(0.5, d_e)$  para las diferentes regiones climatológicas.

donde:

$$f_2(d_e) = f_\infty + (f_m - f_\infty) e^{-C_1 d_e^{n_2}} \quad \text{V.(45)}$$

NOTA:

Los valores de  $C_1, C_2, C_3, n_1, n_2, n_3, f_m$  y  $f_\infty$  se encuentran en la Tabla V.1. (Apéndice No.2.f, Informe 244-1 del CCIR).

- 1.- Clima Templado Continental.
- 2.- Clima Templado Marítimo (sobre tierra).
- 3.- Clima Templado Marítimo (sobre mar).
- 4.- Clima Subtropical.
- 5.- Clima Desértico.
- 6.- Clima Ecuatorial.
- 7.- Clima Subtropical Continental.

La Figura V.15 muestra la función  $V(d_e)$  para los diferentes tipos de climas.

Para el caso que nos ocupa consideramos Clima Ecuatorial.

#### V.2.1.4. CALCULO DE LAS PERDIDAS EN LOS ALIMENTADORES $L_a$ .

Estas pérdidas incluyen las pérdidas de inserción de todos los materiales que componen el sistema alimentador, y se calcula usando la siguiente fórmula:

$$L_a = L_t + L_r = L_{TxBF} + \alpha(l_1 + l_2) + L_{RxBF} + L_{iso} \quad \dots \text{V.(46)}$$

donde:

$L_{TxBF}$  = pérdidas de inserción del filtro pasa banda usado en la transmisión, en dB.

$L_{RxBF}$  = pérdidas de inserción del filtro pasa banda usado en la recepción, en dB.

$\alpha$  = pérdidas del alimentador (Guía de Onda), dB.

$l_1$  = longitud del alimentador en el lado de transmisión, en metros.

$l_2$  = longitud del alimentador en el lado de recepción, en metros.

$L_{iso}$  = pérdidas de inserción del aislador, en dB.

#### V.2.1.5. CALCULO DE LA GANANCIA ANTENA - TRAYECTO $G_p$ .

Aquí se incluyen las ganancias involucradas con las antenas de transmisión y recepción, y éstas se calculan de la siguiente manera:

$$G_p = G_t + G_r - L_{gp} \quad \text{V.(47)}$$

donde:

$G_t$  = ganancia de la antena transmisora, en dB.

$G_r$  = ganancia de la antena receptora, en dB.

$L_{gp}$  = pérdidas de acoplamiento antena - medio, en dB.

#### 5.A. GANANCIA DE ANTENA $G$ .

Para este cálculo consideramos antenas parabólicas de diámetro (D) expresado en metros, eficiencia del 56% y frecuencia (f) en MHz, en la siguiente fór-



mula:

$$G = 20 \text{ Log } D + 20 \text{ Log } f - 42.10 \quad (\text{dB}) \quad \text{V.}(48)$$

### 5.B. CALCULO DE LAS PERDIDAS DE ACOPLAMIENTO ANTENA - MEDIO $L_{gp}$ .

Para calcular estas pérdidas usaremos el Método - desarrollado por M. Hirai, el cual efectúa los cálculos matemáticamente, por lo que consideramos que es - más confiable que cualquier otro método. A continuación se explica el método:

$$L_{gp} = L_{ch} \times L_{cv} \quad (\text{mW}) \quad \text{V.}(49)$$

donde:

$L_{ch}$  = pérdida de acoplamiento antena - medio parcial asociada con el patrón de radiación - horizontal de la antena.

$L_{cv}$  = pérdida de acoplamiento antena - medio parcial asociada con el patrón de radiación - vertical de la antena.

además tenemos que:

$$L_{ch} = \sqrt{1 + k1 \left[ \left( \frac{\alpha_o}{\psi_{th}} \right)^2 + \left( \frac{\beta_o}{\psi_{rh}} \right)^2 \right]} \quad \text{V.}(50)$$

$$L_{cv} = \exp \left[ \left( \frac{\theta_{tm}}{\psi_{tv}} \right)^2 + \left( \frac{\theta_{rm}}{\psi_{rv}} \right)^2 \right] \quad \text{V.}(51)$$

donde:

$\theta_{tm}, \theta_{rm}$  = ángulos óptimos de elevación de las antenas transmisora y receptora, -

respectivamente, en mrad.

$\psi_{th}, \psi_{rh}$  = ancho del haz horizontal de las antenas transmisora y receptora, respectivamente, en mrad. En este caso = 0.6 mrad.

$\psi_{tv}, \psi_{rv}$  = ancho del haz vertical de las antenas transmisora y receptora, respectivamente, en mrad. En este caso = 0.6 mrad.

$k_1$  = constante meteorológica = 0.4 (valor medio estimado).

$\alpha_0$  y  $\beta_0$  ya definidas en las ecuaciones (18) y (19).

$L_{ch}$  y  $L_{cv}$  pueden calcularse en dB, de la siguiente manera:

$$L_{ch} = 5 \text{ Log} \left\{ 1 + k_1 \left[ \left( \frac{\alpha_0}{\psi_{th}} \right)^2 + \left( \frac{\beta_0}{\psi_{rh}} \right)^2 \right] \right\} \dots \text{ (dB) V. (52)}$$

$$L_{cv} = 4.343 \left[ \left( \frac{\theta_{tm}}{\psi_{tv}} \right)^2 + \left( \frac{\theta_{rm}}{\psi_{rv}} \right)^2 \right] \text{ (dB) V. (53)}$$

donde:

$\theta_{tm} / \psi_{tv}$  y  $\theta_{rm} / \psi_{rv}$  se pueden obtener de la Figura V.16 en función de:

$$x_1 = \frac{\theta}{\psi_{tv} (s)(2.5 + 0.15 h_0)} \text{ V. (54)}$$

$$x_2 = \frac{s \theta}{\psi_{rv} (2.5 + 0.15 h_0)} \text{ V. (55)}$$

Los parámetros  $\theta$ ,  $s$ ,  $h_0$ ,  $\psi_{tv}$  y  $\psi_{rv}$  ya fueron defini-

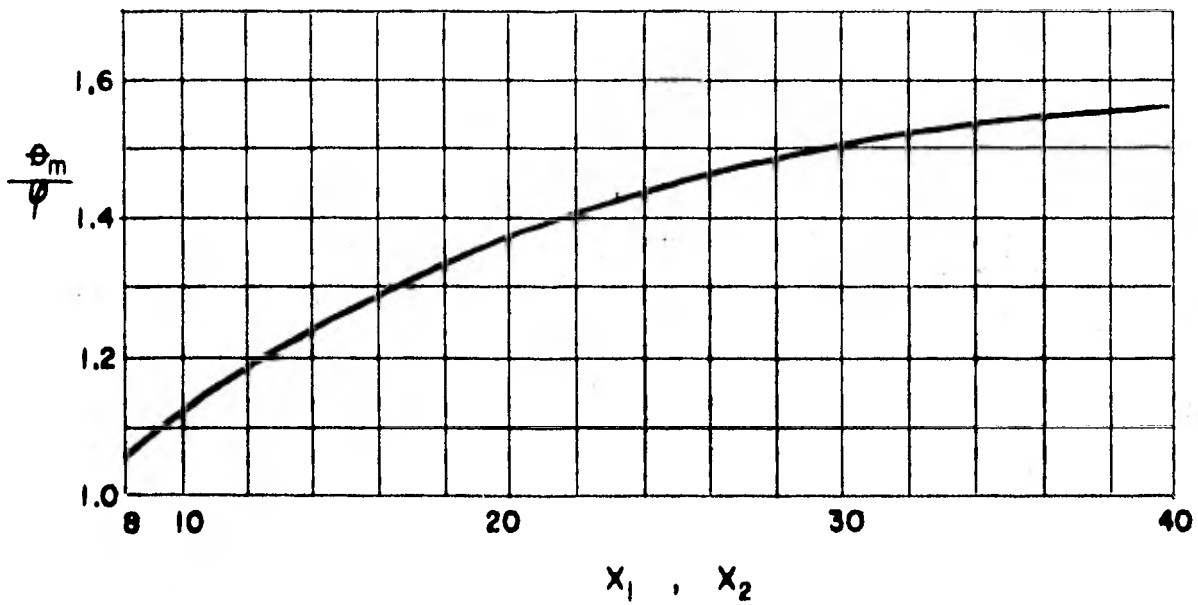
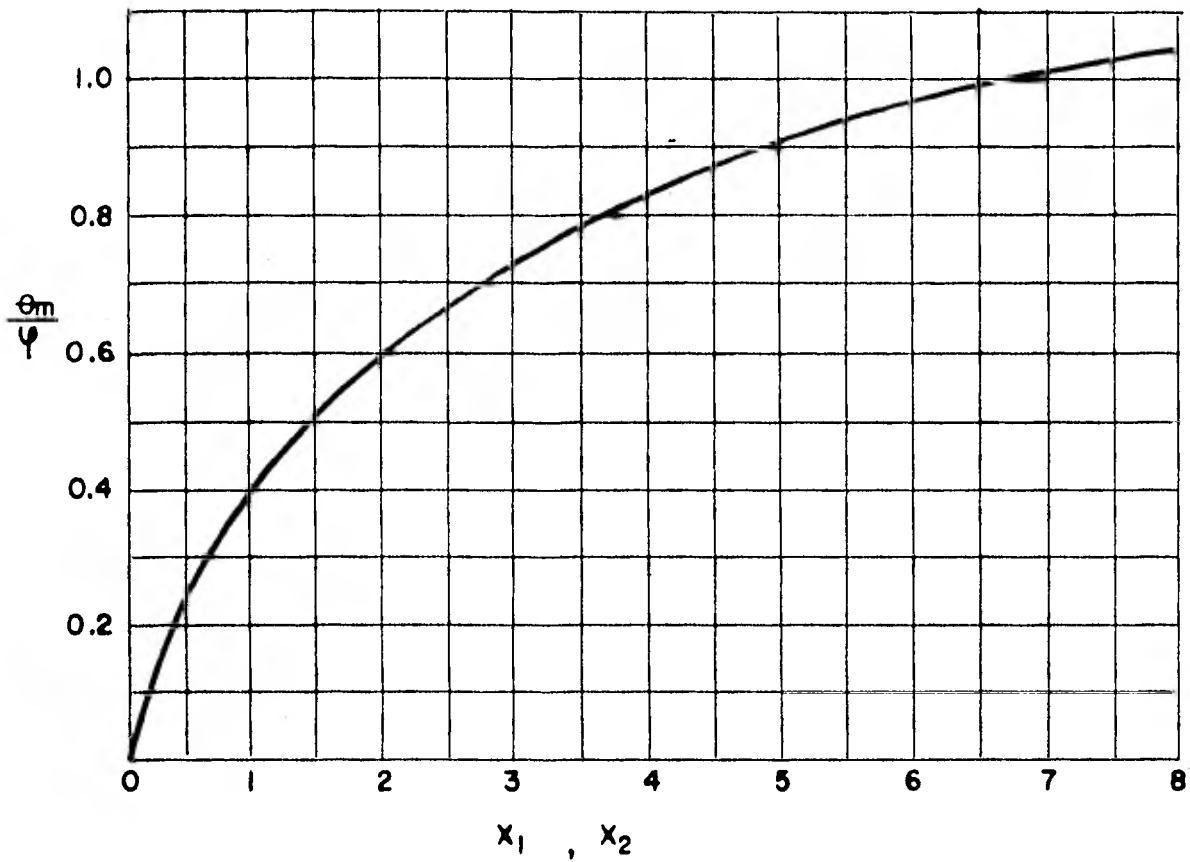


FIG. 16.- GRAFICA USADA PARA CALCULAR  $L_{gp}$ .

dos, por lo tanto:

$$L_{gp} \text{ (dB)} = L_{ch} \text{ (dB)} + L_{cv} \text{ (dB)} \quad \text{V. (56)}$$

Como estamos trabajando con antenas parabólicas, este método se simplifica notablemente ya que el ancho del haz vertical de la antena será igual al ancho del haz horizontal, por lo que:

$$\psi_{th} = \psi_{tv} \quad \text{y} \quad \psi_{rh} = \psi_{rv}$$

además:

$$\psi_{th} = \psi_{tv} = (0.6) \Omega_t \quad \text{V. (57)}$$

donde:

$$\Omega_t = \frac{21 \times 10^3}{f D_t} \quad (\text{°}) \quad \text{V. (58)}$$

siendo:

$\Omega_t$  = ángulo de media potencia de la antena --  
transmisora, en grados.

f = frecuencia de operación; en MHz.

$D_t$  = diámetro de la antena transmisora, en metros.

para  $\Omega_r$  se usa una ecuación similar.

Finalmente transformando a miliradianes:

$$\Omega_t = \frac{21 \times \pi \times 10^6}{180 f D_t} \quad (\text{mrad}) \text{V. (59)}$$

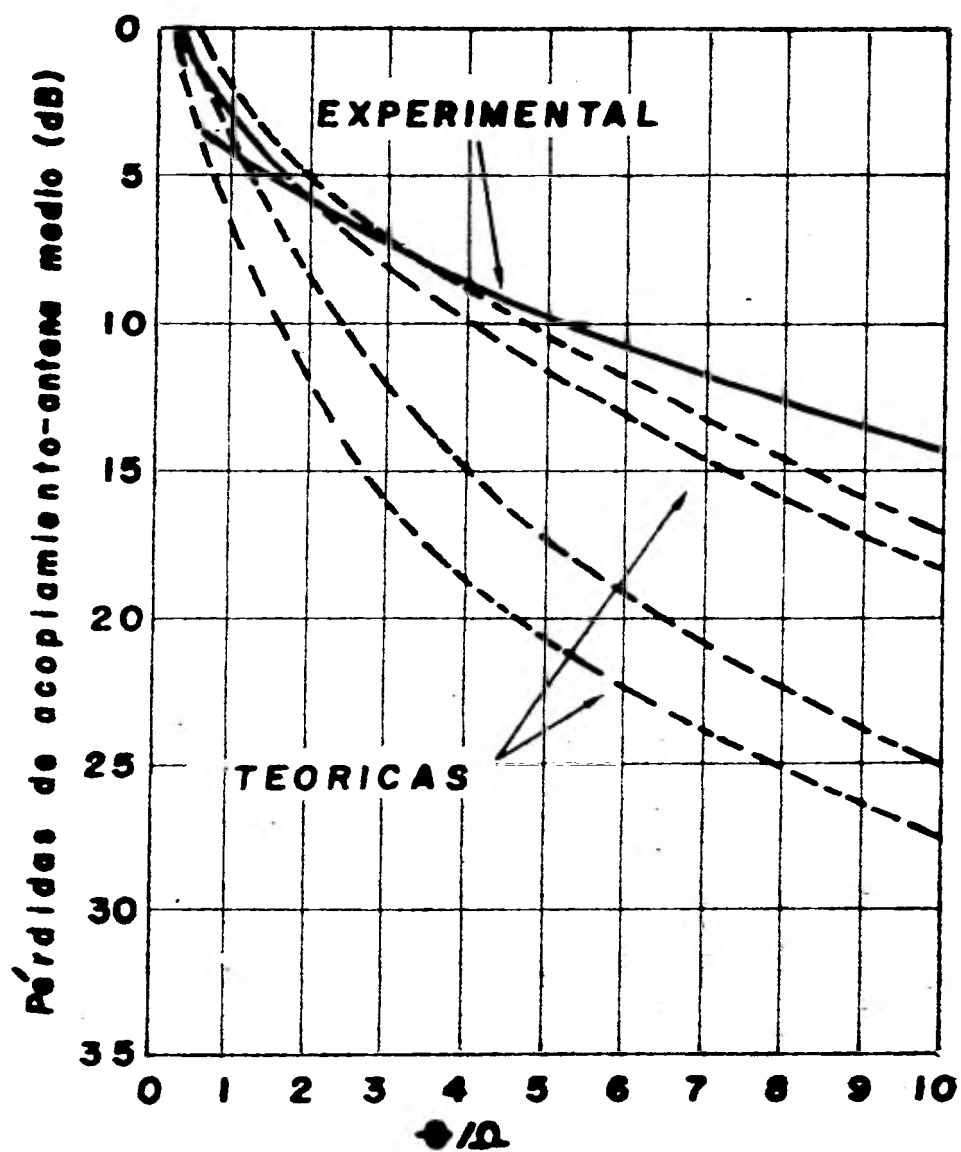


FIG. V.17.- USADA EN EL METODO DE M. HIRAI

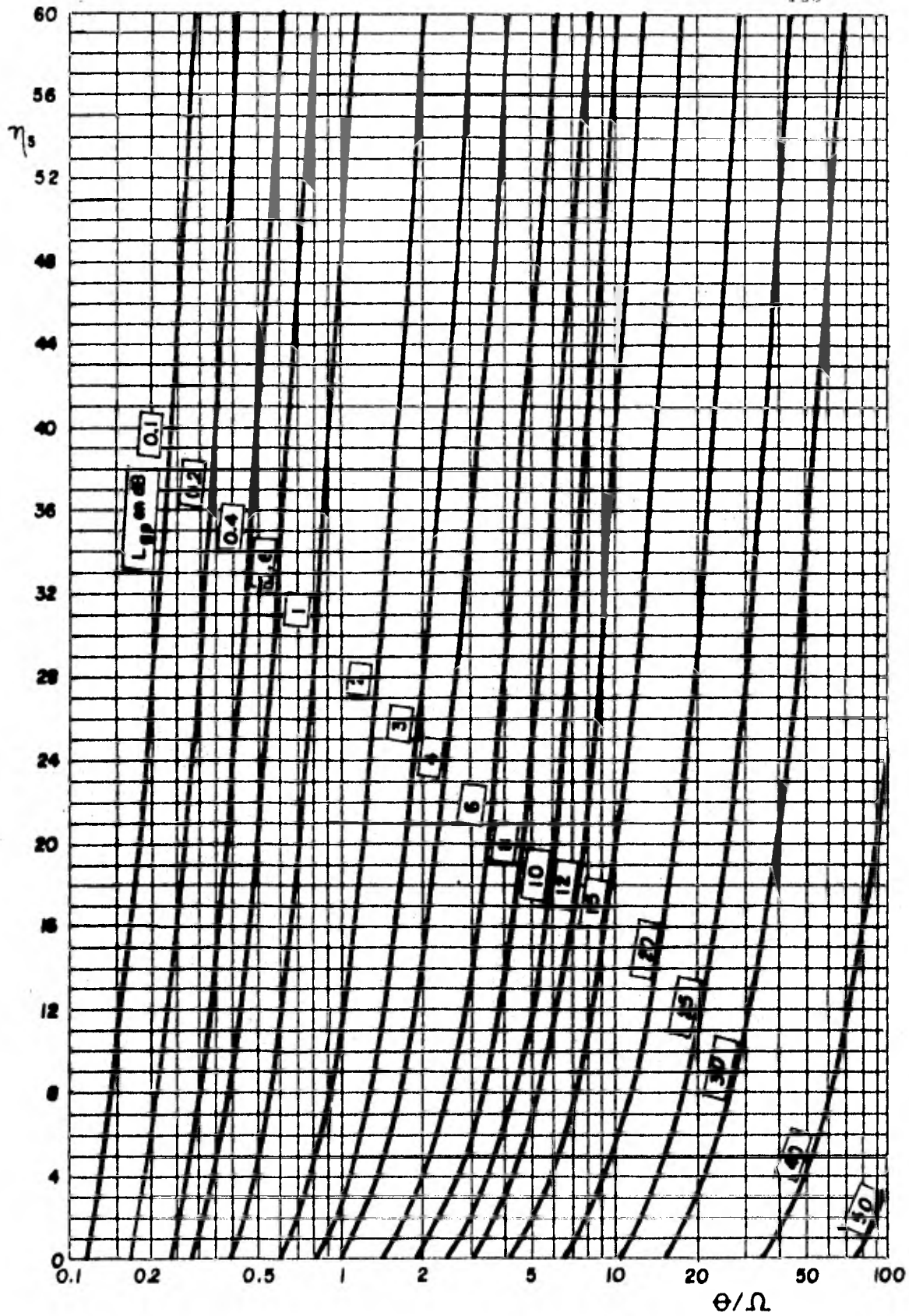


FIG. 18.- PERDIDAS DE ACOPLAMIENTO ANTENA-MEDIO (NBS)

### V.2.1.6. OBTENCION DE LA GRAFICA DE DISTRIBUCION DE LA POTENCIA RECIBIDA $P_r$ .

Como se indicó en el inciso V.2.1.1, la potencia recibida promedio se calcula empleando la fórmula V.(1), ahí - mostrada. Ahora bien, si se desea obtener la gráfica de - distribución de la potencia recibida deberá emplearse la - siguiente expresión:

$$P_r(P\%) = P_r - Fd(p) \quad (\text{dBm}) \quad \text{V.}(60)$$

donde:

$P_r(P\%)$  = nivel de entrada al receptor en P%, en dBm.

$P_r$  = nivel de entrada al receptor promedio, dB.

$Fd(p)$  = Profundidad del desvanecimiento de larga - duración en P%, en dB.

### V.2.1.7. CALCULO DEL MARGEN DE UMBRAL MD.

El margen de umbral MD se calcula usando la siguiente ecuación:

$$MD = P_r(99.9) - U_r \quad (\text{dB}) \quad \text{V.}(61)$$

siendo:

$P_r(99.9)$  = potencia de recepción media al 99.9% del desvanecimiento de larga duración, en dB.

$U_r$  = nivel de umbral del receptor, en dBm.

### V.2.1.8. CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE DESVANECIMIENTO.

Como se explicó en el Capítulo IV, existen dos tipos

de desvanecimientos, de larga duración y de corta duración, los cuales se consideran en el diseño de sistemas con enlaces trans-horizonte.

Para calcular el desvanecimiento de un enlace por dispersión troposférica, se deben combinar ambos desvanecimientos (largo y corto) en una distribución compuesta. La función de densidad  $P(\gamma)$  de esta distribución compuesta - por las distribuciones de Rayleigh y Logarítmica, está dada por la siguiente ecuación:

$$f(\gamma) = \int_0^{\infty} P(\gamma; \gamma_0) q(\gamma_0) d\gamma_0 \quad \text{V.(62)}$$

donde la función de distribución  $P(\gamma)$  está dada por :

$$P(\gamma) = \int_0^{\gamma} F(\gamma) dr \quad \text{V.(63)}$$

y,

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{nivel de entrada} \\ \gamma_0 &= \text{valor medio} = \sqrt{2 \delta^2 \text{Log } 2} \\ \delta &= \text{desviación estándar de la función con distribución Logarítmica.} \end{aligned}$$

Dado lo anterior, la distribución acumulada para un mes en enlaces troposféricos se obtiene usando la fórmula V.(63), cuyo resultado, con desviación estándar para distribución Logarítmica está dada por la Figura V.20.

Mediante la instalación adecuada de la antena y un espaciamiento de frecuencia adecuado, el coeficiente de correlación de desvanecimiento corto (Rayleigh) puede reducirse satisfactoriamente, pero el de distribución Logarítmica permanecerá cercano a 1.



Para este caso, la distribución logarítmica resultante para  $n$  señales con valor medio igual, en los sistemas - combinadores que se citan en el Capítulo IV, es la siguiente:

A). COMBINADOR SELECTOR;

$$F(L) = \{ 1 - \exp(-C^2 L^2) \} \quad \text{V.(64)}$$

B). COMBINADOR DE IGUAL GANANCIA;

$$F(L) = \{ 2n / (2n)! \} (C L)^{2n} \quad \text{V.(65)}$$

C). COMBINADOR DE RELACION MAXIMA;

$$F(L) = \{ [(C L)^{2n} / n!] + [(C L)^2 (n+1)/(n+1)!] \} \dots \text{V.(66)}$$

donde:

$L$  = relación señal-a-ruido (S/N)

$C$  =  $1/L_0$

$L_0$  = valor medio de  $L$ .

Las distribuciones relativas de estos tres tipos de - distribución de período corto son casi iguales.

Estando de acuerdo en usar la distribución de período corto, la distribución compuesta puede calcularse para cada uno de los sistemas de diversidad. Las Figuras V.21, - V.22 y V.23 muestran las curvas de desvanecimiento compuestas con desviación estándar para distribución Logarítmica, para diversidad doble, cuádruple y óctuple, respectivamente.

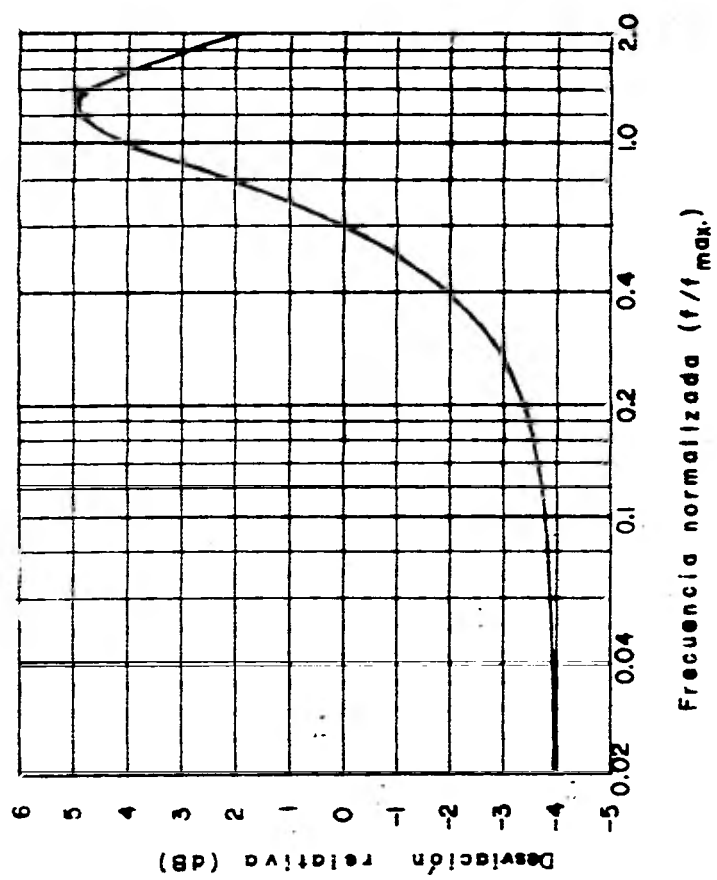


FIG. 19.— ENFASIS

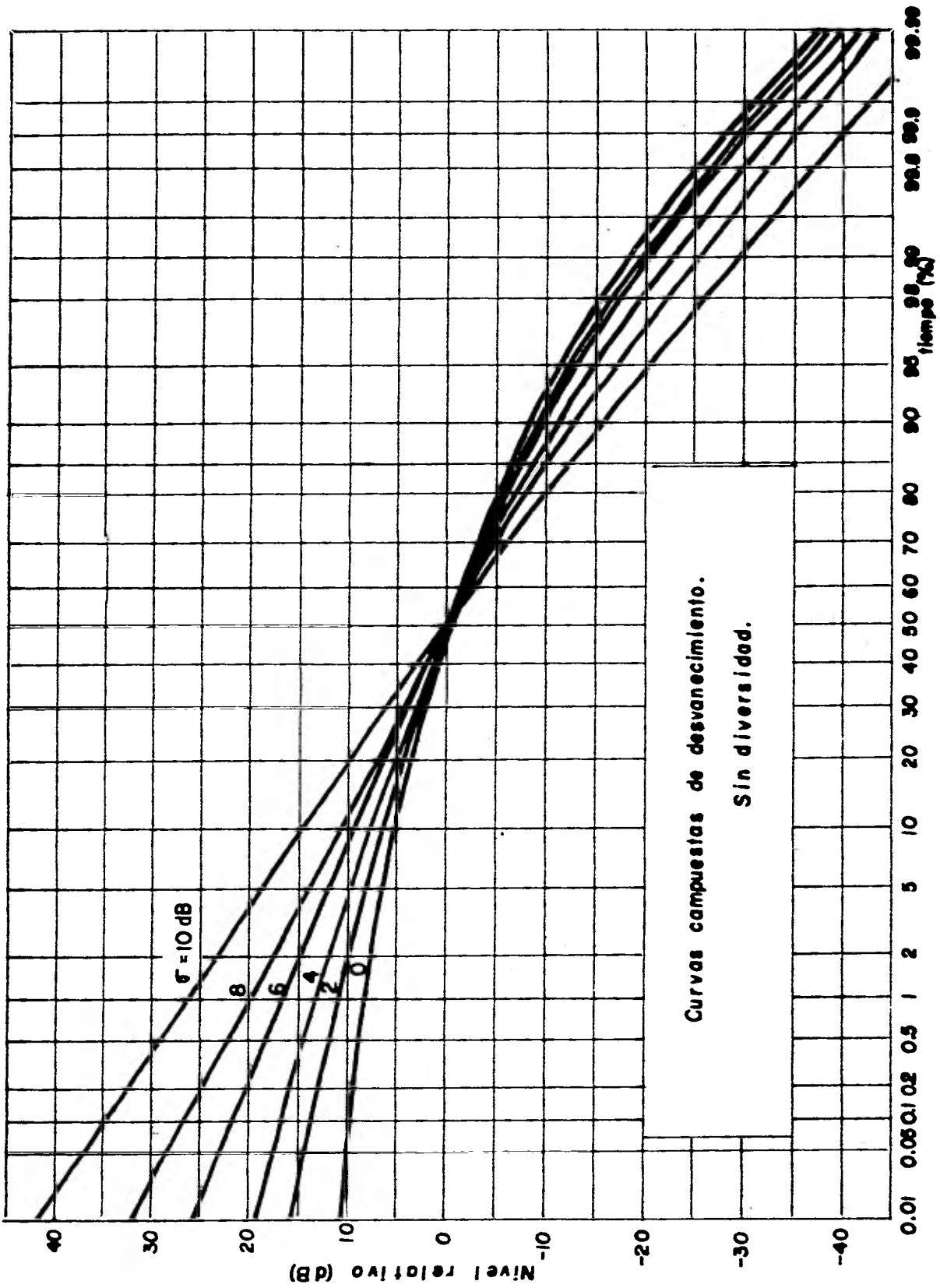
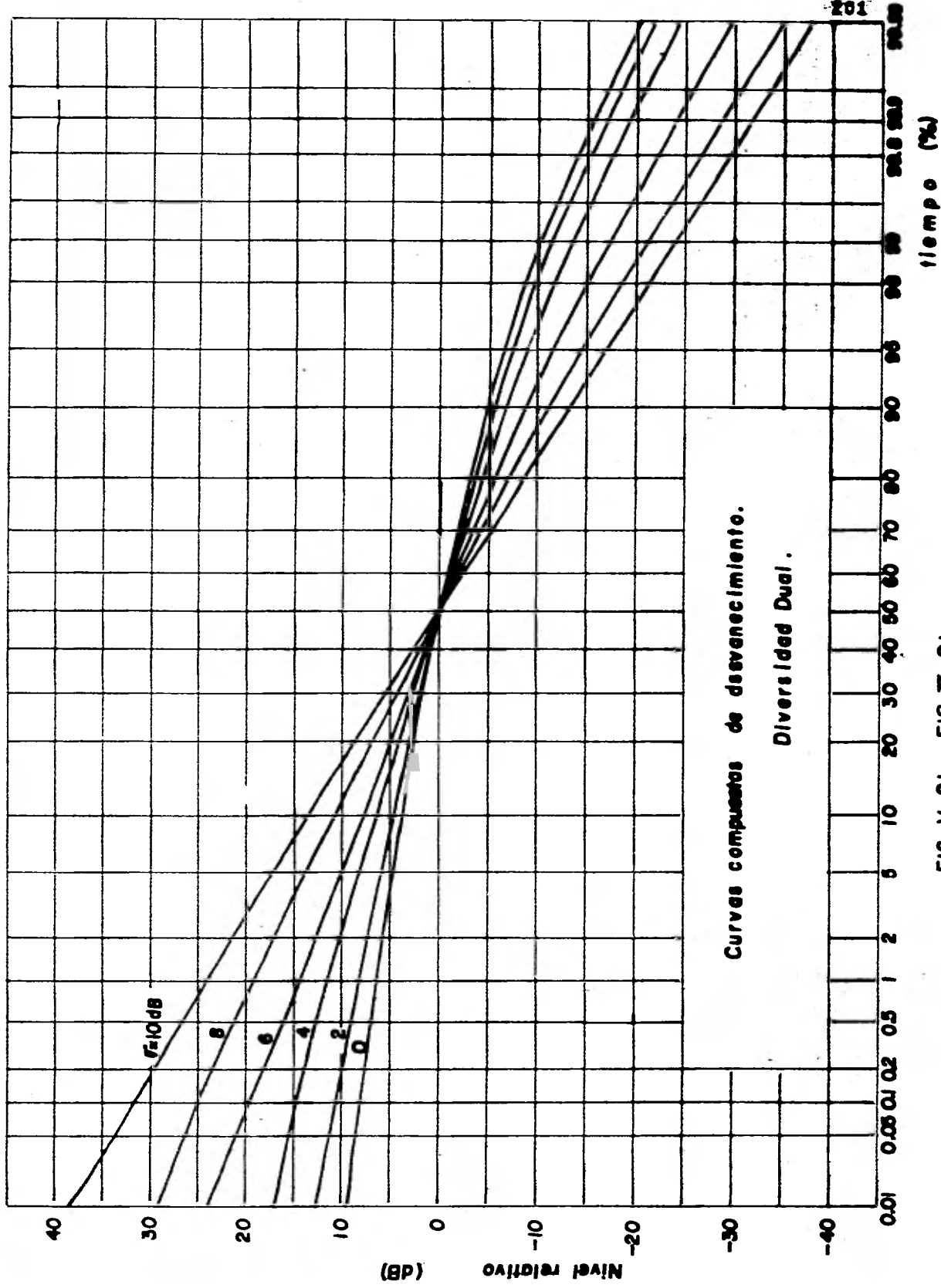
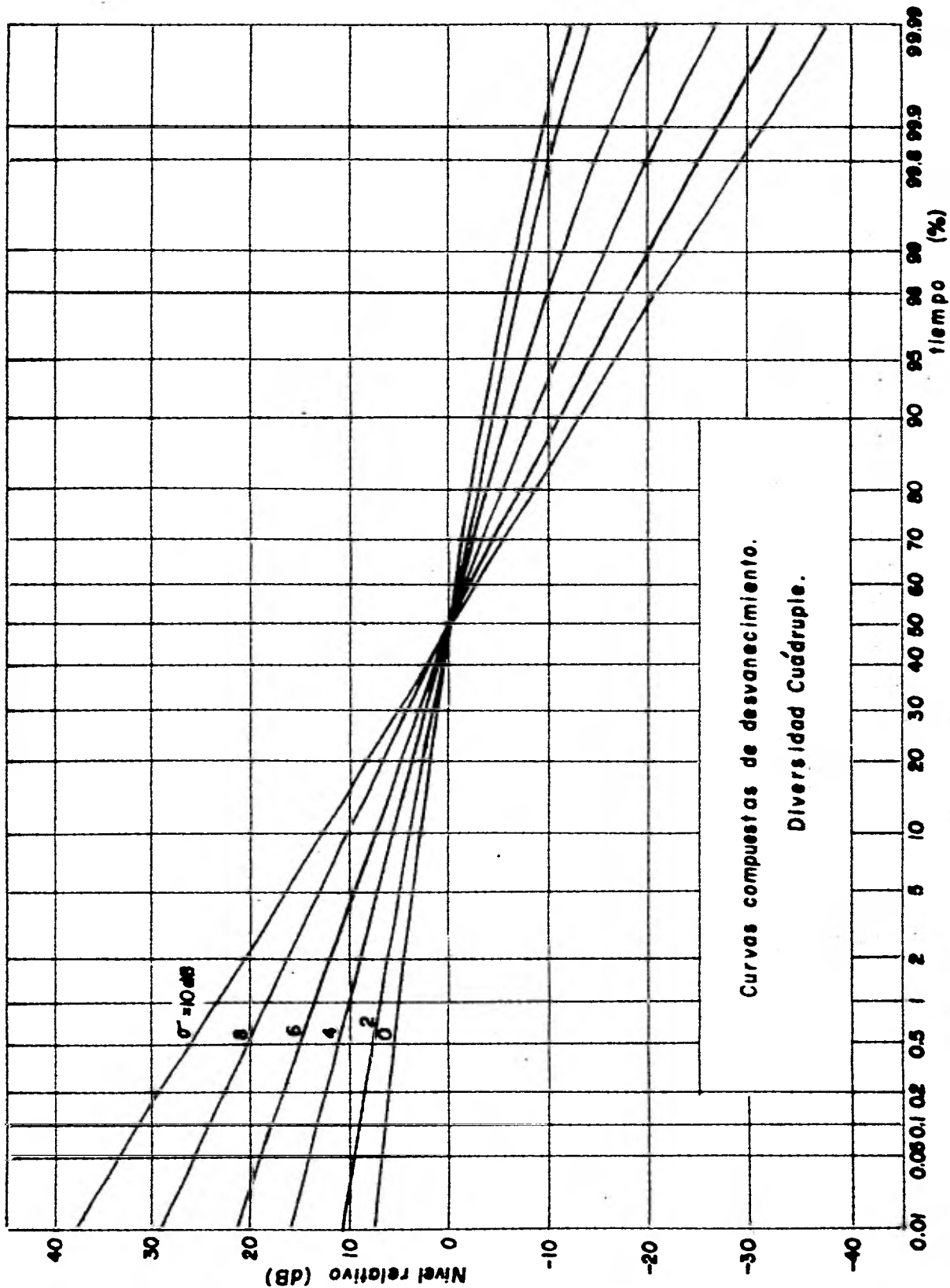


FIG. 5, 20.



Curves compuestas de desvanecimiento.  
Diversidad Dual.

FIG. V. 21. FIG. V. 21.



Curvas compuestas de desvanecimiento.  
Diversidad Cuádruple.

FIG. Y. 22.

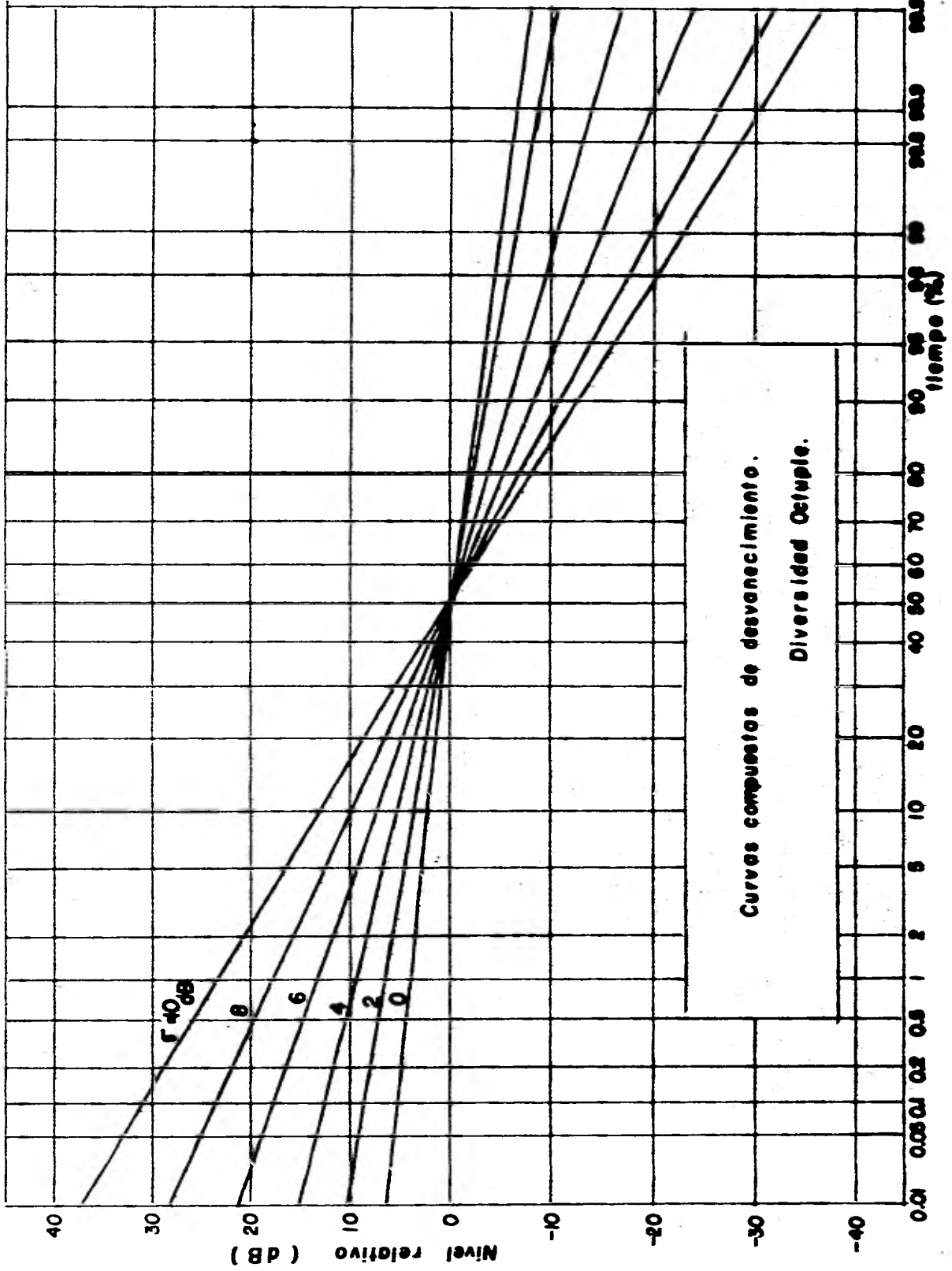


FIG. Y. 23.

## V.2.2. CALCULO DE LA RELACION SEÑAL A RUIDO ,

### V.2.2.1. CALCULO DE LA RELACION SEÑAL A RUIDO TERMICO $S/N_T$ .

La relación señal a ruido térmico  $S/N_T$  para enlaces trans-horizonte, se calcula con la siguiente fórmula:

$$S/N_T = P_r - 10 \text{ Log } 2 \text{ KTB} - F + P + 20 \text{ Log } m + \dots \\ + E + Y \quad \cdot \quad \text{V. (67)}$$

donde:

- $P_r$  = potencia recibida en dBm.
- $10 \text{ Log } 2 \text{ KTB}$  = constante = -136.2 dB.
- $F$  = Figura de ruido del receptor.
- $P$  = Ponderación psfométrica = 2.5 dB.
- $m$  = índice de modulación por canal.
- $E$  = mejora por énfasis = 4 dB.
- $Y$  = Mejora por diversidad.
- $K$  = constante de Boltzmann
- $T$  = temperatura en °K
- $B$  = ancho de banda de un canal telefónico = 3.1 KHz

### 1.A. FIGURA DE RUIDO $F$ .

Depende del equipo a usarse, y deberá ser proporcionada por el fabricante.

Para nuestro cálculo usaremos los siguientes valores:

$F = 10 \text{ dB}$  (sin amplificador de bajo ruido).

$F = 5.5 \text{ dB}$  (con amplificador de diodo tunel).

$F = 2.5 \text{ dB}$  (con amplificador paramétrico).

### 1.B. INDICE DE MODULACION POR CANAL $m$ .

El índice de modulación por canal ( $m$ ) se calcula usando la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\sqrt{2} \cdot \Delta f}{f_m} \quad \text{V. (68)}$$

donde:

$f$  = desviación de frecuencia por canal (Recomendación 404-2 del CCIR)

$f_m$  = frecuencia superior de la banda base (Recomendación 380-3 del CCIR).

Para nuestro caso utilizaremos la siguiente fórmula, la cual introduce una mejora por el énfasis:

$$m = \frac{\sqrt{2} \cdot \Delta f}{f_m} \cdot \text{antilog} \frac{E}{20} \quad \text{V. (69)}$$

En el cálculo usaremos los siguientes valores:

Para 24 canales:  $m = 2.0$

Para 60 canales:  $m = 1.0$

Para 120 canales:  $m = 1.0$

Para 240 canales:  $m = 0.3$

### 1.C. ENFASIS $E$ .

Para el cálculo del énfasis, se usa la gráfica mostrada en la Figura V.19 ( de la Recomendación 275-2 del CCIR).

Para nuestro caso  $E = 4.0$  dB.



### 1.D. MEJORA POR DIVERSIDAD Y.

En nuestro caso usaremos los siguientes valores, los cuales corresponden a las siguientes diversidades;

Sin Diversidad;	0 dB.
Diversidad Doble	3 dB
Diversidad Cuádruple	6 dB
Diversidad Octuple	9 dB

### V.2.2.2. CALCULO DE LA RELACION SEÑAL A RUIDO POR INTERMODULACION $S/N_I$ .

Para este cálculo usaremos la fórmula desarrollada - por Y. Okumura.

$$S/N_I = K - 40 \text{ Log}(f_{mi} \tau) - 20 \text{ Log } M + Z + P + Y \quad \dots \text{ V.}(70)$$

donde:

K = constante = 107.8 dB

$f_{mi}$  = frecuencia superior de la banda base, en KHz  
(Recomendación 380-3 del CCIR).

$\tau$  = tiempo de retardo en microsegundos.

M = índice de modulación en radianes.

Z = factor de carga, en dB.

P = ponderación psfométrica, en dB.

Y = mejora por diversidad, en dB.

El tiempo de retardo ( $\tau$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{d}{6.0c} \left( \frac{\Omega}{2} + \theta_m \right) \left( \frac{\Omega}{2} + \theta_m + \theta \right) (\mu\text{seg}) \text{ V.}(71)$$

donde:

- $d$  = longitud del enlace, en Km.  
 $c$  = velocidad de la luz =  $3 \times 10^5$  Km/seg  
 $\Omega$  = ángulo del haz de la antena a media potencia, - en mrad.  
 $\theta$  = ángulo de dispersión, en mrad.  
 $\theta_m$  = ángulo óptico de elevación del haz, en mrad.

este último parámetro se calcula de la siguiente manera:

$$\theta_m = \frac{1}{2} \psi \left( \frac{\theta_{tm}}{\psi} + \frac{\theta_{rm}}{\psi} \right)$$

siendo:

$$\psi = 0.6 \cdot \Omega$$

pudiéndose calcular  $\Omega$  de manera aproximada por:

$$\Omega = \sqrt{\Omega_t \cdot \Omega_r}$$

donde:

- $\Omega_t$  = ángulo del haz de la antena transmisora a media potencia, en mrad.  
 $\Omega_r$  = ángulo del haz de la antena receptora a media potencia, en mrad.

$\frac{\theta_{tm}}{\psi}$ ,  $\frac{\theta_{rm}}{\psi}$  se obtienen de la gráfica V.16 a partir de las fórmulas citadas en V.(54) y (55).

M se calcula como a continuación se indica:

$$M = 0.41 m L_c \quad \text{V.(72)}$$

donde:

- $m$  = índice de modulación por canal.  
 $L_c$  = factor de carga, el cual se calcula de la si--

guiente manera:

$$L_c = \text{antilog} \frac{-1 + 4 \text{ Log } N}{20} \quad \text{V.}(73)$$

El factor de carga (Z) se calcula de la siguiente manera:

$$Z = 10 \text{ Log } N - (-1 + 4 \text{ Log } N) \quad \text{V.}(74)$$

donde:

N = número de canales.

### V.2.2.3. RUIDO BASICO DE EQUIPO $N_B$ .

El ruido básico se refiere al ruido residual del equipo, el cual incluye el ruido térmico y el ruido de intermodulación.

El valor de este ruido deberá ser proporcionado por el fabricante.

### V.2.2.4. CALCULO DEL RUIDO TOTAL $N_{TOTAL}$ .

Para el cálculo del ruido total se necesita convertir los diferentes niveles de ruido de dBmop a pW, para así -- ser sumados en la siguiente ecuación:

$$N_{total} = N_T + N_I + N_B \quad \text{V.}(75)$$

siendo:

$N_T$  = ruido térmico en pW.

$N_I$  = ruido de intermodulación, en pW.

$N_B$  = ruido básico de equipo, en pW.

#### V.2.2.5. CALCULO DE LA RELACION SEÑAL A RUIDO PARA LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE TIEMPO S/N(%).

Para el cálculo de esta relación señal a ruido se utilizan las siguientes fórmulas:

$$S/N(\%)_{\text{Term.}} = S/N_{\text{Term.}} - \text{desvanecimiento}(\%)_{\text{Term.}} \quad \dots \text{V.}(76)$$

$$S/N(\%)_{\text{Intm.}} = S/N_{\text{Intm.}} - \text{desvanecimiento}(\%)_{\text{Intm.}} \quad \dots \text{V.}(77)$$

La desviación estándar para el ruido térmico ( $\sigma_1$ ) la calculamos con:

$$\sigma_1 = 12.73 + 0.12 Y^2(\%) \quad \text{V.}(78)$$

siendo:

$Y(\%)$  = variabilidad para los distintos porcentajes de tiempo.

#### 5.A. VARIABILIDAD PARA LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE TIEMPO $Y(\%)$ .

Este parámetro se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$Y(\%) = Y(\%, d_e, 100 \text{ MHz}) \cdot g(f) \quad \text{V.}(79)$$

siendo  $g(f)$  un factor de corrección, que se obtiene de la Figura V.24, para los climas 5 y 7; siendo  $g(f)$  igual a 1 para los otros climas.

La variabilidad  $Y(\%, d_e, 100 \text{ MHz})$  fue calculada para un porcentaje del 90%, por la siguiente fórmula obtenida del manual de la NBS, la cual fue deducida a partir de mediciones y estudios experimentales.

$$Y(90\%, d_e, 100 \text{ MHz}) = (c_1 d_e^{n_1} - f_2(d_e)) \exp(-C_3 d_e^{n_3}) \dots + f_2(d_e) \quad \text{V. (80)}$$

siendo:

$$f_2(d_e) = f_\infty + (f_m - f_\infty) \exp(-C_2 d_e^{n_2}) \quad \text{V. (81)}$$

donde:

$C_1, C_2, C_3, n_1, n_2, n_3, f_m$  y  $f_\infty$  son parámetros dados para los distintos climas en la Tabla V.2.

Estarémos seguros de que se cumplen los requisitos de ruido si éstos son satisfechos para la peor variabilidad, la cual ocurre para el 99.9%.

La Nota Técnica 101 del NBS (Tomo I) asume un factor empírico de 2.41, encontrado en la curva V.25, obteniéndose:

$$Y(99.9\%) = 2.41 Y(90\%) \quad \text{V. (82)}$$

con el que finalmente se calculará el valor de  $\sigma_1$ .

La desviación estándar para el ruido de intermodulación ( $\sigma_2$ ) difiere ligeramente de la del ruido térmico. Por medio de mediciones realizadas en todo el --

Constantes empleadas para el cálculo de  $-Y(0.9, d_e, f_{MHz})$  para diferentes regiones climáticas.

CLIMA	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$f_m$	$f_{\infty}$
1) Templado Continental	$9.48 \times 10^{-2}$	$5.7 \times 10^{-11}$	$5.56 \times 10^{-6}$	1.33	3.96	2.44	8.2	3.0
2) Templado Marítimo sobre tierra	$1.45 \times 10^{-2}$	$1.68 \times 10^{-12}$	$8.07 \times 10^{-6}$	1.7	4.61	2.36	9.0	3.5
3) Templado Marítimo sobre mar	$4.52 \times 10^{-2}$	$8.69 \times 10^{-16}$	$1.28 \times 10^{-3}$	1.13	5.95	1.14	13.5	3.5
4) Subtropical Marítimo sobre tierra	$7.24 \times 10^{-10}$	$4.26 \times 10^{-15}$	$1.12 \times 10^{-6}$	1.35	5.41	2.56	12.7	8.4
5) Desértico	$3.19 \times 10^{-2}$	$5.66 \times 10^{-8}$	$7.39 \times 10^{-11}$	1.14	2.76	4.40	11.4	3.3
6) Ecuatorial	$6.5 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-4}$	$2.60 \times 10^{-16}$	1.36	1.36	6.55	8.4	2.7
7) Subtropical Continental	$3.49 \times 10^{-3}$	$1.08 \times 10^{-9}$	$9.15 \times 10^{-11}$	1.55	3.49	4.48	10.1	3.5

NOTA: Las características de cada región climática vienen dadas en Apéndice 3.

TABLA V.2

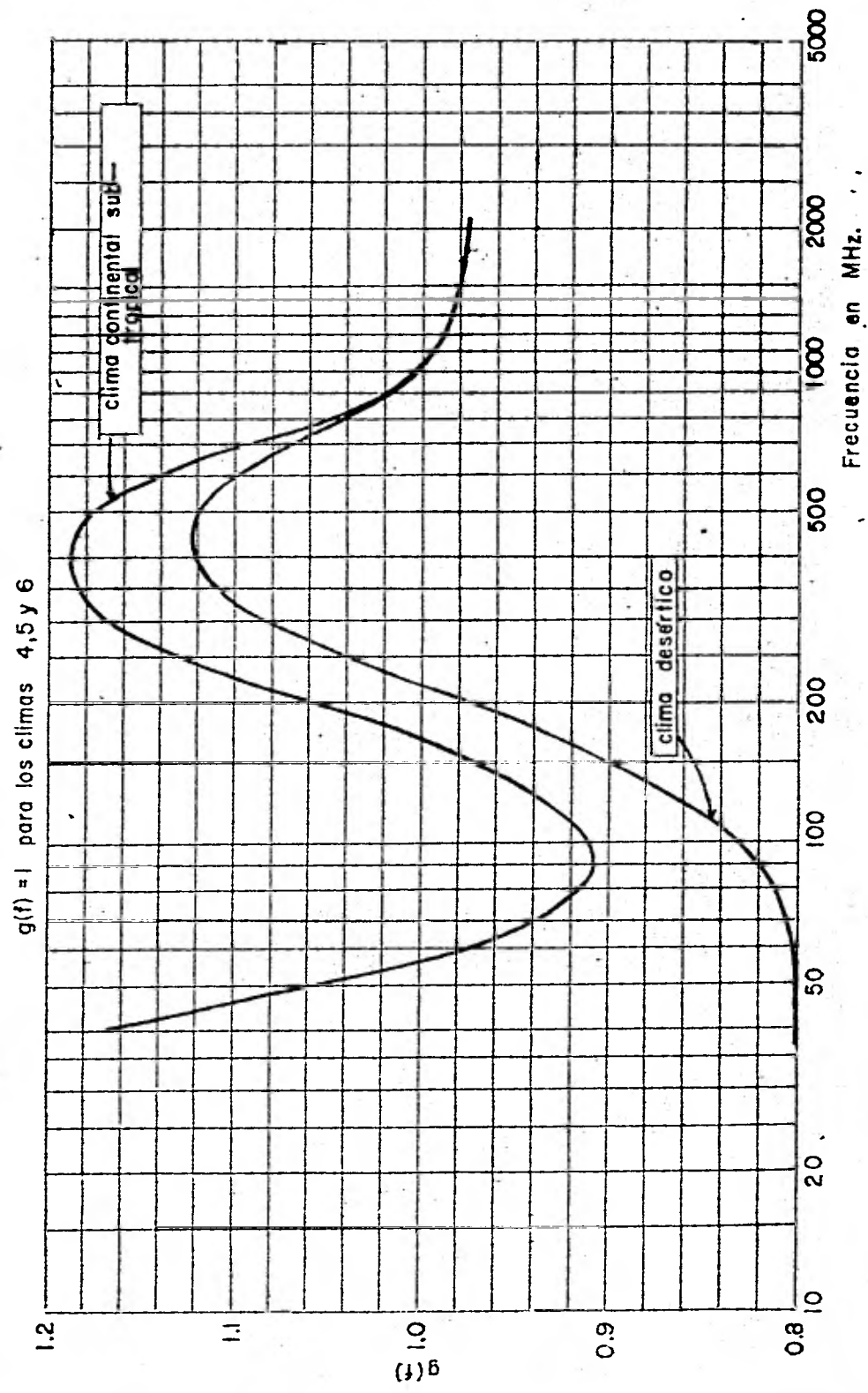


FIG. V.24.- EL FACTOR  $g(f)$ .

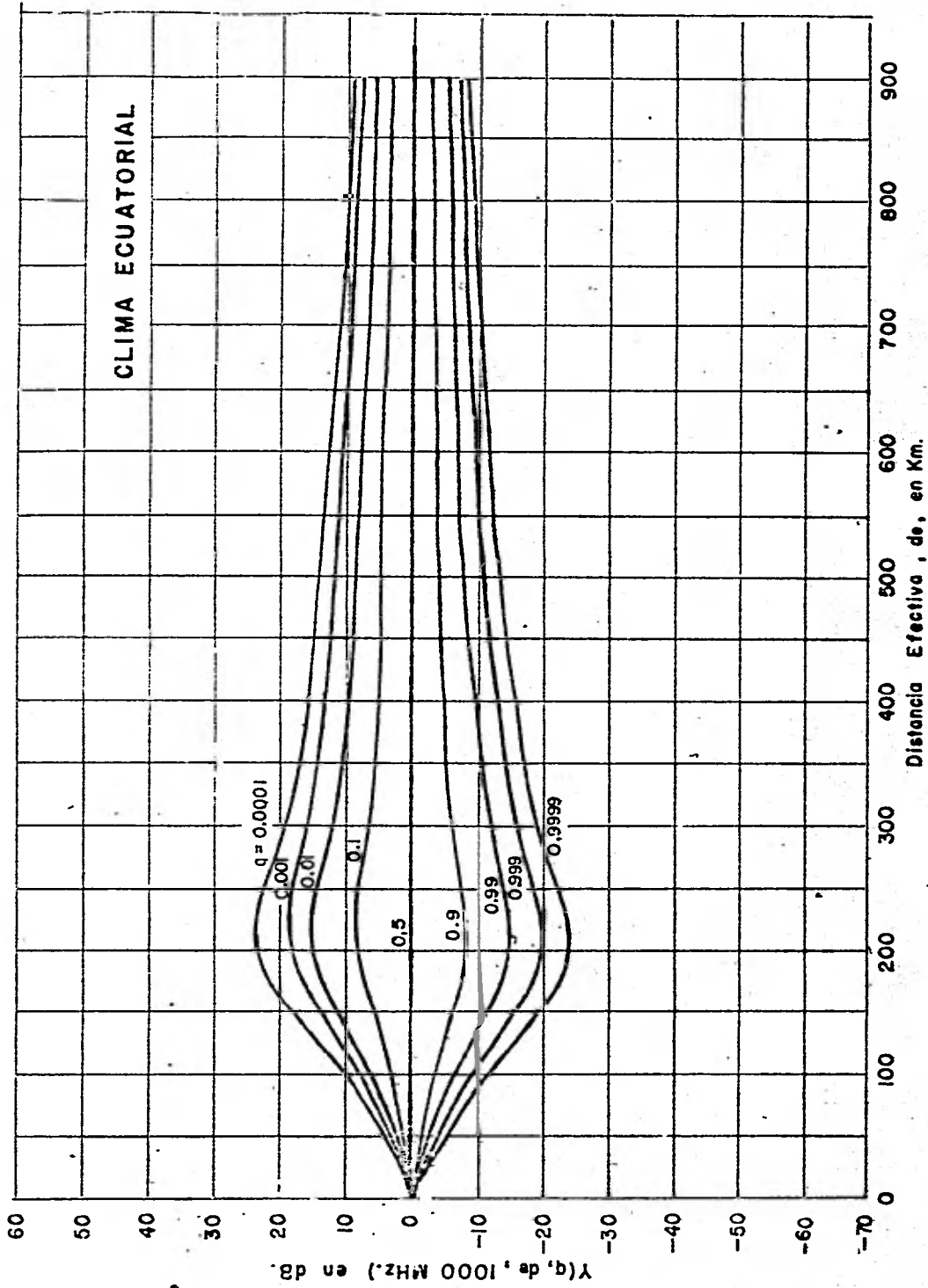


FIG. V. 25.- Curvas de  $Y(q, de, 1000 \text{ MHz.})$



mundo se ha verificado que se cumple en forma aproximada la siguiente relación empírica:

$$\sigma_2 = 0.7 \sigma_1 \quad \text{V. (83)}$$

### V.2.3. RUIDO TOTAL EN RADIO-ENLACES CON MULTISECCIONES (EN TANDEM),

En este inciso se describe el método usado para calcular el comportamiento total de ruido del sistema, cuando los enlaces de radio se conectan en Tandem.

#### V.2.3.1. CALCULO DE LA RELACION SEÑAL A RUIDO TOTAL DEL SISTEMA $S/N_{SIST}$ ,

Usando los resultados de ruido térmico, ruido de intermodulación y ruido básico del equipo, se calculó el ruido total para cada uno de los enlaces. Sin embargo, para calcular el ruido total del sistema este calculo se realiza empleando el Método de Combinación Estadística, que a continuación se explica.

El citado método es una aproximación muy cercana a la realidad, ya que es muy difícil encontrar valores exactos de la distribución de potencia de ruido en las terminales de un sistema telefónico cuando los enlaces por dispersión troposférica se conectan en tándem, pero la potencia de ruido acumulada para un canal telefónico se puede calcular con el mencionado método, pudiéndose tener valores relati-

mente cercanos a los valores medidos en la realidad.

Este consiste en que el valor promedio del ruido y la varianza de una distribución total (enlaces con distribución independiente), es igual a la suma de los respectivos valores promedio de ruido y las varianzas de las distribuciones independientes de los  $n$  enlaces.

De esta manera, si se conoce el valor promedio y la varianza de la distribución de ruido para cada uno de los enlaces que constituyen un sistema, el valor promedio y la varianza de la distribución al final del circuito podrán ser calculadas. La experiencia ha indicado que la distribución de ruido de larga duración en las terminales de un enlace con  $n$  estaciones para un período de tiempo aproximado de un mes, tiene una distribución muy similar a la DB-Normal. Por lo tanto, la distribución de ruido en las terminales del circuito, se calcula sobre la base de una distribución DB-Normal.

La función de densidad probabilística  $P(x)$  de una distribución DB-Normal, está dada por la siguiente ecuación:

$$P(x) = \frac{a}{2\pi \sigma^2} \exp \left[ \frac{-(a \log x - m)^2}{2 \sigma^2} \right] \quad \text{V. (84)}$$

donde:

$m$  = valor promedio

$\sigma^2$  = varianza

$a = 10 \log_{10} e = 4.343$

Así tenemos que los verdaderos valores del promedio y

la varianza de cada enlace, son:

$$M_i = e^{m_i/a + \sigma_i^2/2a^2} \quad V.(85)$$

$$S_i^2 = e^{2m_i/a + \sigma_i^2/a^2} (e^{\sigma_i^2/a^2} - 1) \quad V.(86)$$

donde:

$m_i$  = valor promedio de ruido térmico o de intermodulación para cada enlace, en dBm

$\sigma_i$  = desviación estándar del ruido térmico o de intermodulación para cada enlace, en dB.

entonces la suma total está dada por:

$$M = \sum_i^n M_i \quad V.(87)$$

$$S^2 = \sum_i^n S_i^2 \quad V.(88)$$

Finalmente, se tiene que:

$$m_o = 10 \text{ Log } M - 5 \text{ Log} \left[ 1 + \left( \frac{S}{M} \right)^2 \right] \quad (\text{dBm}) \quad V.(89)$$

$$\sigma_o = \sqrt{43.43 \text{ Log} \left[ 1 + \left( \frac{S}{M} \right)^2 \right]} \quad (\text{dB}) \quad V.(90)$$

donde:

$m_o$  = valor promedio del ruido térmico o del ruido por intermodulación para el sistema en tándem.

$\sigma_o$  = desviación estándar del ruido térmico o de intermodulación para el sistema en tándem.

Para la predicción del valor promedio del ruido total los valores de  $m_o$  y  $\sigma_o$  deberán ser calculados tanto para la distribución de ruido térmico, como para la de ruido por intermodulación.

Por lo tanto, para calcular el Ruido Total Promedio, se deberá llevar a cabo la suma de los ruidos térmico, de intermodulación y básico, como a continuación se indica:

$$N_{SIST} = m_{OT} + m_{OI} + n(N_B) \quad V.(91)$$

donde:

$m_{OT}$  = valor promedio del ruido térmico total, en pW.

$m_{OI}$  = valor promedio del ruido de intermodulación total, en pW.

$n$  = número de enlaces que constituyen el sistema.

$N_B$  = ruido básico del equipo (por enlace), en pW.

Para el cálculo del Ruido Total del Sistema para diferentes porcentajes de tiempo, deberá emplearse la siguiente fórmula:

$$N(\%)_{TOTAL} = m_T(\%) + m_I(\%) + n(N_B) \quad V.(92)$$

donde:

$m_T(\%)$  = ruido térmico total para un (%), en pW.

$m_I(\%)$  = ruido de intermodulación para un (%), en pW.

$n$  = número de enlaces del sistema.

$N_B$  = ruido básico del equipo (por enlace), en pW.

Para calcular los niveles de ruido ( $m_T$  y  $m_I$ ) para los diferentes porcentajes de tiempo, se deberán usar las siguientes igualdades:

$$\begin{aligned}m(50\%) &= m_o && \text{dBm.} \\m(20\%) &= m_o + 1.84 \sigma_o && \text{dBm} \\m(5\%) &= m_o + 1.64 \sigma_o && \text{dBm} \\m(1\%) &= m_o + 2.32 \sigma_o && \text{dBm.} \\m(0.5\%) &= m_o + 2.58 \sigma_o && \text{dBm} \\m(0.1\%) &= m_o + 3.10 \sigma_o && \text{dBm}\end{aligned}$$

C O N C L U S I O N E S .

---

## CONCLUSIONES .

De acuerdo con las necesidades planteadas en la propuesta, las cuales contemplan enlazar puntos localizados entre sí a distancias superiores a los 60 kilómetros, se procedió primero a demostrar que el empleo de un sistema por línea de vista era incosteable, por lo que se plantearon dos soluciones - posibles: el empleo de un satélite o bien el uso de enlaces - transhorizonte.

El primero, como se indicó en el Capítulo III, no es factible por el momento, por lo que se optó por considerar la solución empleando un sistema transhorizonte. Ahora bien, como también se indica en el Capítulo III, los sistemas transhorizonte se dividen en tres clases:

- a) Propagación por Dispersión Troposférica,
- b) Propagación por Difracción empleando la curvatura de la Tierra, y
- c) Propagación por Dispersión Ionosférica.

De estos tres, los indicados en los incisos b) y c) no son factibles de usarse, ya que en el de Difracción las pérdidas son muy altas debido a que en nuestro caso la mayor parte de la trayectoria está sobre el mar; y el de Dispersión Ionosférica no permite el uso de frecuencias muy elevadas, necesarias en nuestro caso, ya que se requiere de transmitir más de un canal a la vez, por lo que se optó por el empleo de la pro

pagación por dispersión en la Tropósfera.

Para el cálculo de los enlaces se empleó un programa de computadora, el cual está basado en la publicación "Computer Programs for Tropospheric Transmission Loss" del IRE; en dicho programa se emplean las fórmulas desarrolladas por el National Bureau of Standards (Nota Técnica 101).

Analizando el listado de resultados (Apéndice 1), observamos que para una potencia de transmisión de 300 Watts, empleando diversidad cuádruple y diámetros de antena de 6.0, - 4.5 y 4.5 metros para los enlaces Cd. Pemex - Cd. del Carmen, Cd. del Carmen - Nohoch "A" y Nohoch "A" - Cayo Arcas, respectivamente, se logra una confiabilidad de 99.9888%, la cual es la requerida.

Cabe aclarar que empleando los mismos valores de potencia de transmisión y diversidad, e intercambiando los valores de diámetro de antena para cada enlace, se obtienen los mismos resultados (ver Apéndice 1 Listado).

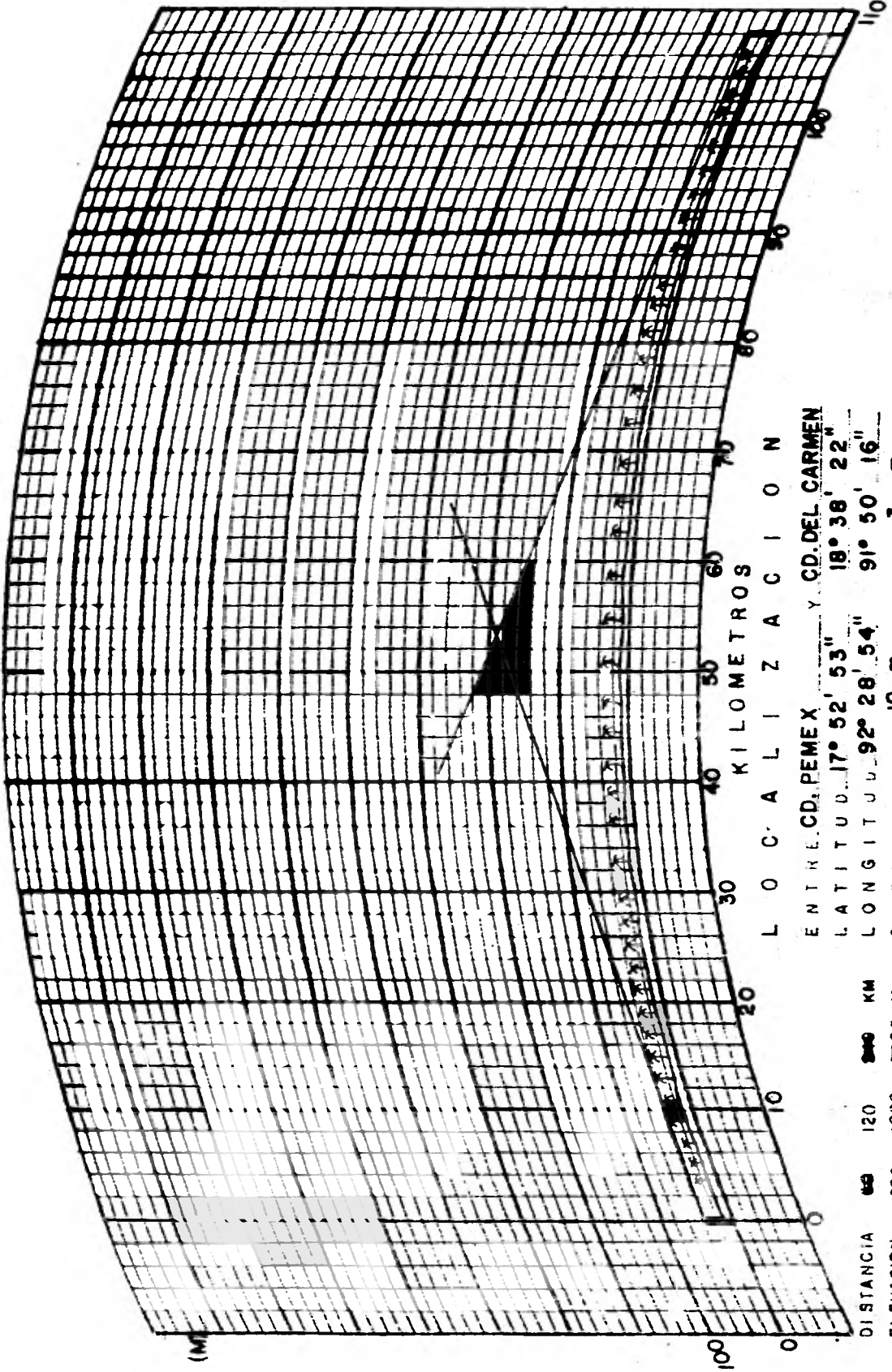
El equipo que cumpla con estos parámetros se deberá someter a un estudio comparativo técnico económico, lo cual queda fuera de los alcances de este trabajo.



A P E N D I C E S .

APENDICE 1.

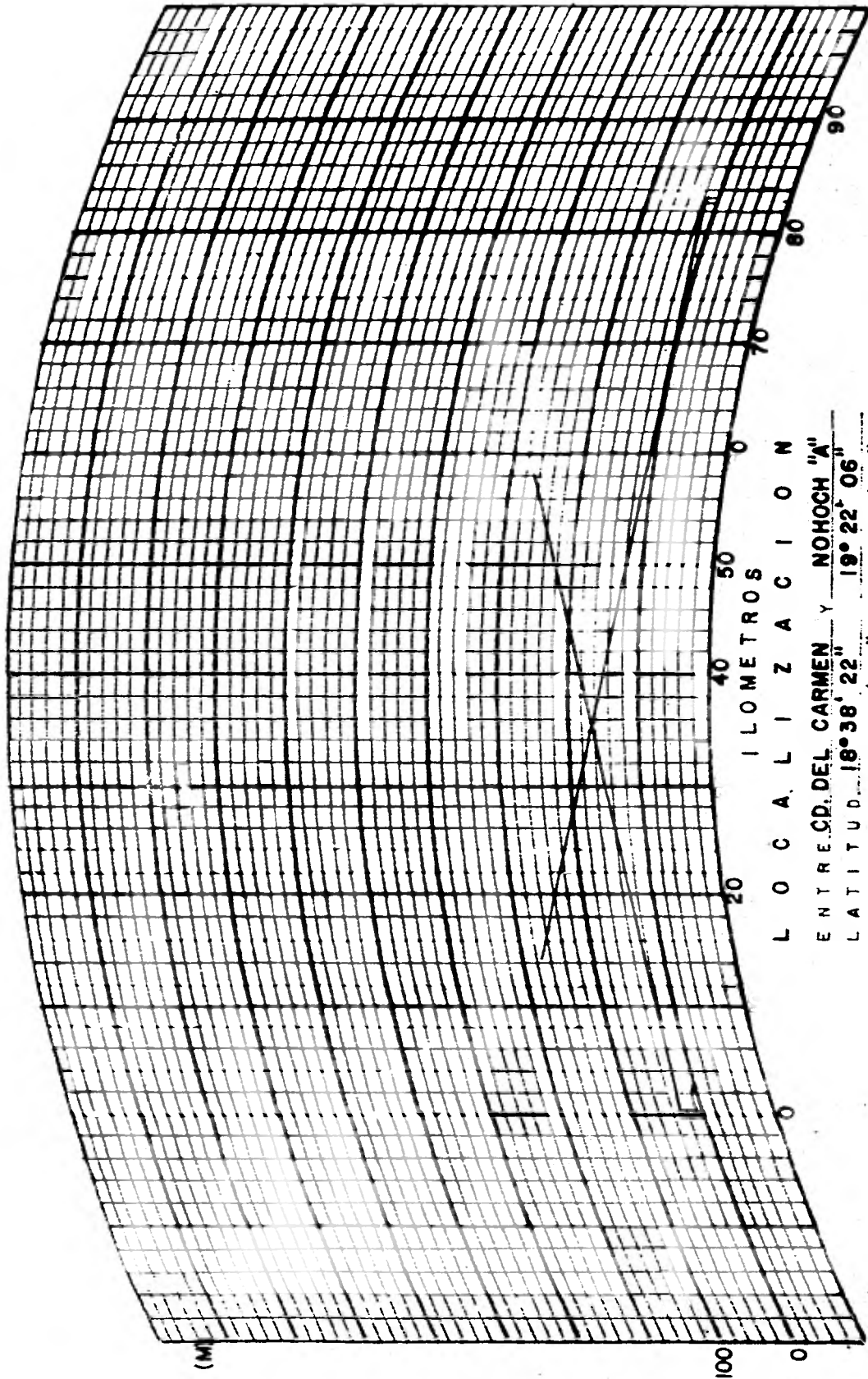
CARTA PARA PERFILES K=4/3.



ENTRE CD. PEMEX Y CD. DEL CARMEN  
 LATITUD  $17^{\circ} 52' 53''$   $18^{\circ} 38' 22''$   
 LONGITUD  $92^{\circ} 28' 54''$   $91^{\circ} 50' 16''$   
 ELEVACION 10 m. 3 m.  
 LONGITUD DE LA TRAYECTORIA 108.222 Km.

DISTANCIA 120 KM  
 ELEVACION 1000 M

CARTA PARA PERFILES K 3.



L O C A L I Z A C I O N

ENTRE CD. DEL CARMEN Y NOHOCH "A"

L A T I T U D 18° 38' 22" 19° 22' 06"

L O N G I T U D 91° 50' 16" 92° 00' 13"

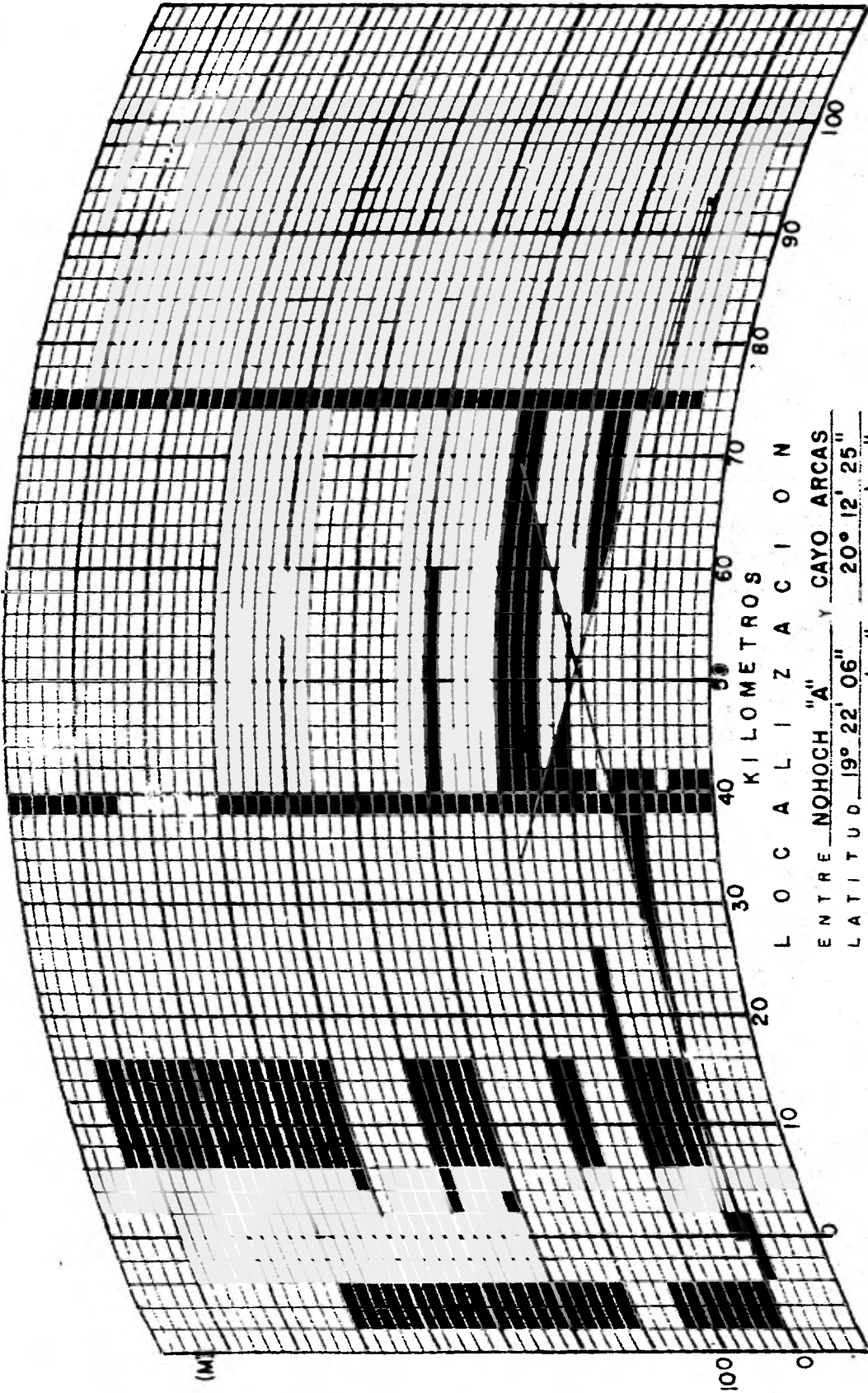
E L E V A C I O N 3 m 0 m

L O N G I T U D D E L A T R A Y E C T O R I A 82.642 Km

D I S T A N C I A 400 120 240 KM

E L E V A C I O N 200 1000 4000 M

CARTA PARA PERFILES K=4/3.



L O C A L I Z A C I O N  
 ENTRE NOHOCH "A" Y CAYO ARCAS  
 LATITUD 19° 22' 06" 20° 12' 25"  
 LONGITUD 92° 00' 13" 91° 58' 05"  
 ELEVACION 0 m 1 m  
 LONGITUD DE LA TRAYECTORIA 93.261 Km.

DISTANCIA 60 120 200 KM  
 ELEVACION 200 1000 2000 M

\*\*\*\*\*  
 ENLACE POR DISPERSION TROCENFERICA EN LA SOMA DE CAM RFOMF  
 \*\*\*\*\*

CALCULO DE PARAMETROS  
 \*\*\*\*\*

FREC. DE OPERACION: 2000.000MHZ  
 RUIDO BASICO DE EQUIPO: 300.000PW

CDAD. PEMEX - CDAD. DEL CARMEN  
 \*\*\*\*\*

DISTANCIA: 108.222 KM DIT: 13.644 MW DLD: 7.144 KM

REFRACTIVIDAD SUPERFICIAL NS: 360.000  
 ABSORCION: .5411 DB  
 PERDIDAS EN LOS ALIMENTADORES: 2.0000 DB

DIAMETRO: 3.00 MTS.  
 \*\*\*\*\*

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA: .6085 KM ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPCION: .0347 KM

THETA FT: -.0003 RAD THETA FR: -.0012 RAD  
 THETA FT: .0012 RAD THETA FR: -.0003 RAD  
 ALFA CO: .0060 RAD BETA CO: .0052 RAD  
 THETA CO: .0112 RAD

ALFAD: .60E-02 RAD BETAD: .52E-02 RAD  
 THETA: .11E-03 RAD

HO: .168024 DB FC: .743305 DB  
 DF: 171.02600 KM VFF: 9.78220 DB  
 GNET: .0593 RAD GPF: .0863 RAD  
 PERDIDAS DE ACOMPLAMIENTO ANTENA-RECEPCION: .6703 DB

ETHEA: 138.7105 DB

PERDIDAS PASIVAS DE TRANSMISION: 187.238A DB  
 GANANCIA DE ESPACIO LINEA: 33.4630 DB GANANCIA ANTENA TRAVECIO: 66.8897 DB  
 PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE: 127.463 DB



DIAMETRO= 6.000 MTS.  
\*\*\*\*\*

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA= .0238 KM ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPTORA= .6400 KM

THETA ET= -.0007 RAD THETA EF= -.0019 PAD

THETA CT= .0009 PAD THETA CP= -.0011 PAD

ALFA DE = .0055 PAD BETA DP = .0045 PAD

THETA CP= .0100 PAD

ALFA = .55E-02 RAD BETA = .45E-02 PAD

THETA = .10E-01 PAD

HD= .094274 CR

FD= .70E232 DB

DE= 166.76417 KM

VCE= 0.53126 DB

GHET= .0207 PAD

OPER= .0207 PAD

PERDIDAS DE ADOPLAMIENTO ANTENA-MEDIU= .2302 DB

FTHETA= 137.2730 DB

PERDIDAS BASICAS DE TRANSMISION= 186.014E DB

GANANCIA DE ESPACTO LIBRE= 39.4836 DB

GANANCIA ANTENA IPAYECTO= 78.7370 DB

PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE= 109.339 DB



COAD. DEL CAMPO - NIMICH 6  
DISTANCIA 22.667 KM CLT= 7.144 KM CLR= 18.447 KM

EFECTIVIDAD SUPERCICIAL NS= 360.000  
ABSORCION .4142 DB  
PERDIDAS EN LOS ALIMENTADORES 2.600 DB

DIAMETRO 3.00 MTS.

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA .0205 MM ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPTORA .0147 MM

THETA FO = -0.0050 RAD THETA FP = -0.0019 RAD  
THETA CV = -0.0043 RAD THETA CP = .0002 RAD  
ALFA ON = .0001 RAD ALFA OP = .0027 RAD  
THETA CO = .0020 RAD

ALFA O = .018-03 RAD RETAR = .27E-02 RAD  
THETA = .28E-02 RAD

FO = .33455 CP FO = 1.027673 DB  
DE 145.5071 KM VFF = 8.43242 DB  
OMEGA .0593 DB DEF = .0593 DB  
PERDIDAS DE ACUPLAMIENTO ANTENA-REFLECTOR .4737 CP

THETA = 117.0702 DB

PERDIDAS FISICAS DE TRANSMISION= 109.026 DB  
GANANCIA DE ESPACIO LIBRE 33.4830 DB GANANCIA ANTENA TRANSMISOR 64.5223 DB  
PERDIDAS TOTALES DEL ENLAZ= 104.624 DB

DIAMETRO= 4.50 MIS.  
\*\*\*\*\*

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA= .0318 KM      ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPTORA= .0170 KM

THETA ET= -.0053 RAD      THETA EP= -.0020 RAD  
THETA OT= -.0044 RAD      THETA OP= .0001 RAD  
ALFA OC= -.0002 RAD      BETA OC= .0024 RAD  
THETA OC= .0024 RAD

ALFA O= -.21E-03 RAD      BETA O= .24E-02 RAD  
THETA O= .24E-02 RAD

HQ= 7.773752 DB      FO= 1.10E071 DB  
DE= 147.32750 KM      VFE= 8.29303 DB  
DRET= .0396 RAD      CMEP= .0396 RAD  
PERDIDAS DE ACOPPLAMIENTO ANTENA-MEDIU= .030E DB

FTHETA= 114.8863 DB

PERDIDAS BASICAS DE TRANSMISION= 174.3384 DB  
GANANCIA DE ESPACIO LIBRE= 3E-0849 DB      GANANCIA ANTENA TRAVECTO= 73.9591 DB  
PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE= 102.430 DB

DIAMETRO= 6.00 HTS.  
\*\*\*\*\*

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA = .0348 KM      ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPTORA = .0200 VP

THETA ET = -.0057 RAD      THETA FP = -.0022 RAD  
THETA DT = -.0049 RAD      THETA DP = -.0000 RAD  
ALFA CD = -.0006 RAD      BETA CF = .0025 RAD  
THETA DC = .0018 RAD  
ALFA D = -.031E-03 RAD      BETA D = .25E-02 RAD  
THETA = .18E-02 RAD

HC = 8.40E00 DB      FC = 1.000499 DB  
DE = 144.94075 KM      VDF = 8.11604 DB  
OMEG = .0297 RAD      NPER = .0297 RAD  
PERDIDAS LE ACOPLAMIENTO ANTENA-MEDIO = .0175 DB

STHETA = 111.2626 DP

PERDIDAS BASICAS DE TRANSMISION = 173.0045 DP      GANANCIA ANTENA TRAYECTO = 78.9497 DB  
GANANCIA DE ESPACIO LIRPE = 35.6826 DP  
PERDIDAS TOTALES (CFL ENLACE) = 94.735 DP

NOHOCH A - CAYO ARCAS

DISTANCIA= 93.261 KM DIT= 16.447 KM RLP= 4.125 KM

REFRACTIVIDAD SUPERFICIAL NS= 360.000  
ABSORCION= .6663 DB  
PERDIDAS EN LOS ALIMENTADORES= 2.0600 DB

DIAMETRO= 3.00 MTS.

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA= .0191 KM ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPTORA= .0090 KM

THETA ET= -.0010 RAD THETA EP= -.0025 RAD  
THETA CT= .0002 RAD THETA CP= -.0021 RAD  
ALFA OC= .0034 RAD ALFA CC= .0029 RAD  
THETA CD= .0065 RAD

ALFA D= .36E-02 RAD BETA D= .79E-02 RAD  
THETA= .65E-02 RAD

HQ= 2.417001 DB FC= .969097 DB

PE= 170.06415 KM VLF= 9.72563 DB  
GMEF= .0193 RAD WFER= .0593 PAD  
PERDIDAS DE ACOPLANAMIENTO ANTENA-MFDTIC= .0248 DB

FTHETA= 129.4840 DB

PERDIDAS FISICAS DE TRANSMISION= 181.3104 DB GANANCIA ANTENA TRAYECTO= 66.9013 DB  
GANANCIA DE ESPACIO LIBRE= 33.6430 DB

PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE= 116.669 DB

KM

-.0020

.0001

.6035

.0358

35E-02

09 DB

112 KM

0590 MJ

ACPLAV

ASICAS DI

IPPE=

DTALES DI

DB

11

11

DIAMETRO= 6.00 MTS.  
\*\*\*\*\*

ALTURA EFECTIVA DE ANTENA TRANSMISORA= .0204 KM      ALTURA EFECTIVA DE ANTENA RECEPTORA= .0143 KM

THETA FT= -.0022 RAD      THETA FP= -.0038 RAD  
THETA GT= -.0060 RAD      THETA DF= -.0033 RAD  
ALFA DC= .0033 RAD      PFTA DC= .0016 RAD  
THETA DD= .0049 RAD  
ALFA D= .33E-02 PAC      PFTAD= .1AE-02 PAD  
THETA= .49E-02 PAC

HD= 1.61263P CR      FF= .8E000 DB  
DE= 164.12977 KM      VDE= 9.37002 DP  
CMT= .0297 RAD      DMR= .0297 RAD  
PERDIDAS DE ACOPLAMIENTO ANTENA-MFIDIC= .0862 DP

FTHETA= 125.628 DP

PERDIDAS BASICAS DE TRANSMISION= 177.34CF CP  
GANANCIA DE ESPACIO LINEA= 3E.4E26 DR      GANANCIA ANTENA TRAYECTO= 70.8P10 DR  
PTDIDAS TOTALES DEL FNLACF= 100.520 DF

VALORES DE DESVANECIMIENTO COMPUESTO PARA LOS DIFEREN TFS PORCENTAJES DE TIEMPO

DIVERSIDAD 0

ENLACE NUMERO 1

	20.0000000000 CIENTO	50.0000000000 CIENTO	100.0000000000 CIENTO	250.0000000000 CIENTO	500.0000000000 CIENTO	1000.0000000000 CIENTO
DESVANECIMIENTOS	TEPNICO	INTERMOD.	TEPNICO	INTERMOD.	TEPNICO	INTERMOD.
DIAH. 3.0 H.	9.50 DB	7.64 DB	29.00 DB	23.33 DB	34.50 DB	28.01 DB
DIAH. 4.5 H.	9.29 DB	6.52 DB	28.27 DB	22.63 DB	33.78 DB	26.30 DB
DIAH. 6.0 H.	9.20 DB	6.49 DB	28.10 DB	19.93 DB	33.47 DB	24.20 DB

ENLACE NUMERO 2 *****	20.000000 CIENTO *****	500000 CIENTO *****	100000 CIENTO *****	500000 CIENTO *****	500000 CIENTO *****	500000 CIENTO *****	500000 CIENTO *****
PORCENTAJES	TECNICO	TECNICO	TECNICO	TECNICO	TECNICO	TECNICO	TECNICO
DESVANECIMIENTOS	INTERMED.	INTERMED.	INTERMED.	INTERMED.	INTERMED.	INTERMED.	INTERMED.
DIAS: 3.0 M.	6.19 DB	25.61 DB	10.43 DB	23.23 DB	32.30 DB	23.81 DB	36.36 DB
DIAS: 4.5 M.	6.15 DB	25.27 DB	10.23 DB	23.00 DB	31.97 DB	23.63 DB	35.67 DB
DIAS: 6.0 M.	6.13 DB	24.82 DB	10.19 DB	22.92 DB	31.42 DB	23.41 DB	35.03 DB

ENLACE NUMERO	3	.20000000 CIENTO		.100000 CIENTO		.010000 CIENTO		.001000 CIENTO	
POCENTAJES		TECNICO	INTERMED.	TECNICO	INTERMED.	TECNICO	INTERMED.	TECNICO	INTERMED.
DESARROLLOS	9.33 DB	6.56 DB	20.06 DB	33.05 DB	24.34 DB	35.05 DB	25.23 DB	40.24 DB	27.96 DB
DIAM. 3.0 M.									
DIAM. 4.5 M.	9.23 DB	6.50 DB	19.96 DB	32.55 DB	24.23 DB	35.45 DB	25.00 DB	39.81 DB	27.79 DB
DIAM. 6.0 M.	9.10 DB	6.45 DB	19.82 DB	33.05 DB	24.17 DB	35.03 DB	24.88 DB	39.24 DB	27.57 DB









DIVERSIDAD 4

ENLACE NUMERO 1

	20.00000000 CIENTO	500000 CIENTO	100000 CIENTO	050000 CIENTO	011200 CIENTO
DESVANECIEMIENTOS	TECNICO	TECNICO	TECNICO	TECNICO	TECNICO
	INTERNO	INTERNO	INTERNO	INTERNO	INTERNO
DIAM. 3.0 M.	8.67 DB	5.79 DB	31.07 DB	33.04 DB	37.25 DB
DIAM. 4.5 M.	8.60 DB	5.76 DB	30.87 DB	32.82 DB	36.99 DB
DIAM. 6.0 M.	8.52 DB	5.71 DB	30.60 DB	32.53 DB	36.64 DB

ENLACE NUMERO 2  
\*\*\*\*\*

	20.0000000000 CIENTO	.500000 CIENTO	.100000 CIENTO	.050000 CIENTO	.011200 CIENTO
PERCENTAJES =	20.0000000000	50.0000000000	10.0000000000	5.0000000000	1.1200000000
DESVANECIMIENTOS	7.74 DB	5.34 DB	23.60 DB	23.30 DB	23.68 DB
DIAM. = 3.0 M.	7.74 DB	5.34 DB	23.60 DB	23.30 DB	23.68 DB
DIAM. = 4.5 M.	7.63 DB	5.29 DB	23.30 DB	23.50 DB	22.42 DB
DIAM. = 6.0 M.	7.49 DB	5.22 DB	22.92 DB	29.02 DB	32.42 DB

ENCABE NUMERO 3  
 \*\*\*\*\*

	20.000000 CIENTO *****	50.0000 CIENTO *****	100.0000 CIENTO *****	200.0000 CIENTO *****	500.0000 CIENTO *****	1000.0000 CIENTO *****	5000.0000 CIENTO *****
PORCENTAJES	TERMINO INTERMOD.	TERMINO INTERMOD.	TERMINO INTERMOD.	TERMINO INTERMOD.	TERMINO INTERMOD.	TERMINO INTERMOD.	TERMINO INTERMOD.
DESVANECIMIENTOS	8.63 DB	17.62 DB	30.97 DB	21.01 DB	32.93 DB	22.29 DB	37.12 DB
DIAM.= 3.0 M.	5.77 DB	17.62 DB	30.97 DB	21.01 DB	32.93 DB	22.29 DB	37.12 DB
DIAM.= 4.5 M.	8.54 DB	25.79 DB	30.67 DB	20.83 DB	32.61 DB	22.09 DB	36.73 DB
DIAM.= 6.0 M.	8.41 DB	25.45 DB	30.27 DB	20.57 DB	32.18 DB	21.82 DB	36.22 DB

ENLACE NUREC ?	20.0000001 CLIENTE	50000000 CLIENTE	10000000 CLIENTE	10000000 CLIENTE	50000000 CLIENTE	10000000 CLIENTE
PERCENTAJES	7.44 CR	23.10 CR	27.37 CR	18.72 CR	29.13 CR	32.15 CR
DESVANECIMIENTOS	5.04 CR	15.01 CR	27.00 CR	18.12 CR	28.72 CR	32.20 CR
DIAS	7.44 CR	23.10 CR	27.37 CR	18.72 CR	29.13 CR	32.15 CR
DIAS	7.33 CR	22.80 CR	27.00 CR	18.12 CR	28.72 CR	32.20 CR
DIAS	7.19 CR	22.42 CR	26.52 CR	18.27 CR	28.72 CR	31.62 CR

ENLACE NUMERO 3  
 \*\*\*\*\*

	20.000000 POR CIENTO *****	.500000 POR CIENTO *****	10.0000 POR CIENTO *****	.050000 POR CIENTO *****	.011200 POR CIENTO *****
PERCENTAJES					
DESVANECIMIENTOS	TEPPICD	TEPPICD	TEPPICD	TEPPICD	TEPPICD
	INTERMCO	INTERMCO	INTERMCO	INTERMCO	INTERMCO
	*****	*****	*****	*****	*****
DIAM. 3.0 M.	8.33 DB	5.47 DB	30.43 DB	37.79 DB	26.13 DB
DIAM. 4.5 M.	6.24 DB	5.43 DB	30.11 DB	32.05 DB	23.92 DB
DIAM. 6.0 M.	6.11 DB	5.37 DB	30.66 DB	31.59 DB	23.64 DB



LISTA DE ALTERNATIVAS PARA LOS ENLACES POR TERCER-SCA TTEF

DIVERSIDAD = 0

POT. TRANSMIT. = 10.0 W

DIAM. ANT. POT. RECIBIDA UPRRAL PFCFD. MADC. OFSVAN. PEL. S/N TERM. PEL. S/N INTM. PEL. S/N PROM.

ENLACE NUMERO = 1

3.0 MTS.	-82.4479 DBM	-97.0000 DBM	14.5571 DB	*****	*****
4.5 MTS.	-74.9162 DBM	-97.0000 DBM	22.0338 DB	*****	*****
6.0 MTS.	-69.3295 DBM	-97.0000 DBM	27.6705 DB	*****	*****

ENLACE NUMERO = 2

3.0 MTS.	-64.6342 DBM	-97.0000 DBM	32.3658 DB	*****	*****
4.5 MTS.	-62.4395 DBM	-97.0000 DBM	34.5605 DB	*****	*****
6.0 MTS.	-54.7148 DBM	-97.0000 DBM	42.2852 DB	*****	*****

ENLACE NUMERO = 3

3.0 MTS.	-76.6691 DBM	-97.0000 DBM	20.9309 DB	*****	*****
4.5 MTS.	-67.6143 DBM	-97.0000 DBM	28.1857 DB	*****	*****
6.0 MTS.	-60.5195 DBM	-97.0000 DBM	36.4805 DB	*****	*****

NO SE CALCULA EL SISTEMA

NOTA: Para valores de potencia transmitida de 50, 100, 200, 250, 300 y 500 Watts,

y sin Diversidad el resultado de esta hoja se repite.

DIVERSIDAD = 2

\*\*\*\*\*

POT. TRANSMI. = 10.0 W

\*\*\*\*\*

DIAM. ANT. PCT. RECIPITA UMFAL PFCFP. \*APC. DESVAN. PFL. S/N INTM. PFL. S/N PDOM.

ENLACE NUMERO = 1

3.0 MTS.	-82.4420 DBM	-97.0000 DBM	14.5571 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-74.9662 DBM	-97.0000 DBM	22.0338 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-69.3595 DBM	-97.0000 DBM	27.6605 DB	*****	*****	*****

ENLACE NUMERO = 2

3.0 MTS.	-64.6342 DBM	-97.0000 DBM	32.3658 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-62.4395 DBM	-97.0000 DBM	34.5605 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-54.7148 DBM	-97.0000 DBM	42.2857 DB	74.0276 DB	91.4687 DB	64.6817 DB

ENLACE NUMERO = 3

3.0 MTS.	-76.4691 DBM	-97.0000 DBM	20.5309 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-67.6163 DBM	-97.0000 DBM	29.1857 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-60.5195 DBM	-97.0000 DBM	36.4805 DB	*****	*****	*****

NO SE CALCULA EL SISTEMA

NOTA: Para las potencias de 50, 100, 200, 250, 300 y 500 Watts,  
y Diversidad doble se repite el resultado de esta hoja.

DIVERSIDAD = 4  
\*\*\*\*\*

PGT. TRANSMIT. = 10.0 W  
\*\*\*\*\*

DIAM. ANT.	POT. RECIBIDA	UMAPAL RECEPT.	MARG. RESVAN.	PFL. S/N TERM.	PFL. S/N INTM.	REL. S/N PROM.
ENLACE NUMERO = 1						
3.0 MTS.	-82.4429 DBM	-97.0000 DBM	16.5571 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-74.9112 DBM	-97.0000 DBM	22.0888 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-69.3395 DBM	-97.0000 DBM	27.6605 DB	*****	*****	*****
ENLACE NUMERO = 2						
3.0 MTS.	-64.6342 DBM	-97.0000 DBM	32.3658 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-62.4355 DBM	-97.0000 DBM	34.5645 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-54.7144 DBM	-97.0000 DBM	42.2856 DB	77.0276 DB	94.4687 DB	64.9460 DB
ENLACE NUMERO = 3						
3.0 MTS.	-76.4491 DBM	-97.0000 DBM	20.5509 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-67.8143 DBM	-97.0000 DBM	29.1857 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-60.5195 DBM	-97.0000 DBM	36.4805 DB	*****	*****	*****

NO SE CALCULA EL SISTEMA

NOTA: Para valores de potencia transmitida de 50, 100, 200 y 250 Watts se repite el resultado de esta hoja, sólo a partir de 300 Watts se obtienen resultados satisfactorios con diversidad cuádruple.

POT. TRANSMIT. = 300.0 W  
 \*\*\*\*\*

DIAM. ANT. POT. RECEBIDA UMbral RECEP. MARC. DE SVAN. PFL. S/N TFRM. PFL. S/N INTY. PFL. S/N PPRM.

ENLACE NUMERO = 1

3.0 MTS.	-67.6717 DBM	-67.3000 DBM	26.3283 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-60.1450 DBM	-97.0000 DBM	36.8050 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-54.6683 DBM	-97.0000 DBM	47.4370 DB	77.1741 DB	70.8214 DB	64.8134 DB

ENLACE NUMERO = 2

3.0 MTS.	-49.8830 DBM	-97.0000 DBM	47.1370 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-47.6683 DBM	-97.0000 DBM	49.1370 DB	84.0747 DB	84.6940 DB	68.1270 DB
6.0 MTS.	-39.9436 DBM	-97.0000 DBM	57.0660 DB	91.7577 DB	94.4687 DB	68.2161 DB

ENLACE NUMERO = 3

3.0 MTS.	-41.6070 DBM	-97.0000 DBM	35.3021 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-53.0431 DBM	-97.0000 DBM	43.9660 DB	78.6593 DB	78.2355 DB	64.8346 DB
6.0 MTS.	-45.7483 DBM	-97.0000 DBM	51.2577 DB	85.9941 DB	87.1919 DB	69.1852 DB

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE DESV. TFRM. DESV. INTY. SERVICIO (DB) RUIDO (DB) REFLECCION S/N

20.0000%	7.629 DB	4.899 DB	2818.383	1335.891	58.742 DB
0.570%	20.347 DB	19.294 DB	43000.000	47533.885	43.230 DB
0.113%	33.030 DB	20.650 DB	100000.000	107493.821	37.046 DB

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 204.830 KM. CON SELA CION SENAL A RUIDO DE 40.0223 DB PARA UN RUIDO DE 904.868 DB  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.00 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.50 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 6.00 MTS

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

POPCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PW)	PUIDO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.629 DR	4.899 DR	2818.303	1335.801	58.742 DR
.0570/0	29.187 DR	18.294 DR	63000.000	47533.885	43.230 DR
.011 0/0	39.010 DR	20.650 DR	1000000.000	197423.821	37.046 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 286.330 MM. CON PELA CION SENAL A PUIDO DE 60.0223 DR PAPA UN PUIDO DE 994.868 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.50CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 6.50CMTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

POPCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PW)	PUIDO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.629 DR	4.899 DR	2818.303	1335.801	58.742 DR
.0570/0	29.187 DR	18.294 DR	63000.000	47533.885	43.230 DR
.011 0/0	39.010 DR	20.650 DR	1000000.000	197423.821	37.046 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 286.330 MM. CON PELA CION SENAL A PUIDO DE 60.0223 DR PAPA UN PUIDO DE 994.868 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.50CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 6.50CMTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

POPCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PW)	PUIDO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.629 DR	4.899 DR	2818.303	1335.801	58.742 DR
.0570/0	29.187 DR	18.294 DR	63000.000	47533.885	43.230 DR
.011 0/0	39.010 DR	20.650 DR	1000000.000	197423.821	37.046 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 286.330 MM. CON PELA CION SENAL A PUIDO DE 60.0223 DR PAPA UN PUIDO DE 994.868 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.50CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 6.50CMTS.

CONFIABILIDAD = 99.9888 0/0

POT. TRANSMIT. = 500.0 W  
 \*\*\*\*\*

DIAM. ANT. = 3.0 MTS.    POT. RECIPIENTE = 31.5448 DR    MARC. DE SVAP. = PEL. S/N INTM. = PEL. S/N PRCH.

ENLACE NUMERO = 1

3.0 MTS.	-65.4532 DRM	-97.0000 DRM	31.5448 DR	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-57.9765 DRM	-97.0000 DRM	76.0293 DR	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-52.3408 DRM	-97.0000 DRM	44.6502 DR	79.3526 DR	76.6214 DR	64.9159 DR

ENLACE NUMERO = 2

3.0 MTS.	-47.6445 DRM	-97.0000 DRM	46.3555 DR	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-45.4408 DRM	-97.0000 DRM	51.5502 DR	86.2927 DR	84.4940 DR	65.1442 DR
6.0 MTS.	-37.7251 DRM	-97.0000 DRM	55.2740 DR	94.0173 DR	94.4687 DR	65.2179 DR

ENLACE NUMERO = 3

3.0 MTS.	-59.4794 DRM	-97.0000 DRM	37.9206 DR	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-56.8246 DRM	-97.0000 DRM	46.1754 DR	80.9178 DR	79.2355 DR	64.9065 DR
6.0 MTS.	-43.5298 DRM	-97.0000 DRM	53.4702 DR	88.2176 DR	87.1919 DR	69.1766 DR

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV. TERM.	DESV. INTM.	SEÑALIZADO (DR)	PIUNO (DR)	PELACION S/N
20.0000/0	7.629 DR	4.899 DR	2819.383	1213.510	59.160 DR
.0570/0	20.187 DR	18.254 DR	6300.000	30016.177	45.226 DR
.011 0/0	33.010 DR	20.650 DR	100000.000	122289.275	39.126 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 244.330 KM. CON FEAIA C/EN SEÑAL A PUINO DE 60.1156 DR PARA UN PUINO DE 979.743 DR  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 1 EL DIAMETRO ES = 6.00 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 2 EL DIAMETRO ES = 4.50 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 3 EL DIAMETRO ES = 4.50 MTS

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PW)	RUIPO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.629 DP	4.899 DP	2818.383	1213.510	59.160 DP
0.0570/0	20.187 DP	18.294 DP	63000.000	30016.177	45.226 DP
0.111 0/0	33.010 DP	20.650 DP	1000000.000	122269.275	39.126 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 264.330 KM. CON SELA CION SENAL A RUIPO DE 60.1156 DP PARA UN RUIPO DE 073.743 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAPETRO ES= 6.00CMIS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAPETRO ES= 4.50CMIS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAPETRO ES= 4.50CMIS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PW)	RUIPO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.629 DP	4.899 DP	2818.383	1213.510	59.160 DP
0.0570/0	20.187 DP	18.294 DP	63000.000	30016.177	45.226 DP
0.111 0/0	33.010 DP	20.650 DP	1000000.000	122269.275	39.126 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 264.330 KM. CON SELA CION SENAL A RUIPO DE 60.1156 DP PARA UN RUIPO DE 073.743 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAPETRO ES= 6.00CMIS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAPETRO ES= 4.50CMIS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAPETRO ES= 4.50CMIS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PW)	RUIPO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.629 DP	4.899 DP	2818.383	1213.510	59.160 DP
0.0570/0	20.187 DP	18.294 DP	63000.000	30016.177	45.226 DP
0.111 0/0	33.010 DP	20.650 DP	1000000.000	122269.275	39.126 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 264.330 KM. CON SELA CION SENAL A RUIPO DE 60.1156 DP PARA UN RUIPO DE 073.743 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAPETRO ES= 6.00CMIS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAPETRO ES= 4.50CMIS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAPETRO ES= 4.50CMIS.

CONFIABILIDAD = 99.9999 0/0

10/10/78

T. POT. RECIPICA UP

DIVERSIDAD = 8

POT. TRANSMIT. = 10.0 W

DIAM. ANT. POT. RECIPICA UMPPAL RECF. MADR. DESVAN. PEL. S/N INTM. PEL. S/N PPOY. TS. -69.4224 DBM

ENLACE NUMERO = 1

3.0 MTS. -62.4424 DBM -97.0000 DBM 14.5571 DB \*\*\*\*\* TS. -51.6230 DBM  
4.5 MTS. -74.9442 DBM -97.0000 DBM 22.0233 DB \*\*\*\*\* TS. -49.4202 DBM  
6.0 MTS. -69.3395 DBM -97.0000 DBM 27.6404 DB \*\*\*\*\* TS. -41.7045 DBM

ENLACE NUMERO = 2

3.0 MTS. -64.6342 DBM -97.0000 DBM 37.3656 DB \*\*\*\*\* TS. -63.4506 DBM  
4.5 MTS. -62.4395 DBM -97.0000 DBM 36.5405 DB \*\*\*\*\* TS. -54.6040 DBM  
6.0 MTS. -54.7146 DBM -97.0000 DBM 42.2852 DB \*\*\*\*\* TS. -47.5092 DBM

ENLACE NUMERO = 3

3.0 MTS. -76.4691 DBM -97.0000 DBM 20.5306 DB \*\*\*\*\* DESV. TFORM. DESV. TM  
4.5 MTS. -67.8143 DBM -97.0000 DBM 29.1857 DB \*\*\*\*\*  
6.0 MTS. -60.5195 DBM -97.0000 DBM 36.6404 DB \*\*\*\*\* 7.221 DB 4.87

NO SE CALCULA EL SISTEMA

28.033 DB 31.776 DB 21.2

NOTA: Se repite el resultado de esta hoja para potencias transmitidas de 50 y 100 Watts, obteniéndose resultados satisfactorios a partir de 200 Watts.

284.330 KM. CON FFLA CID  
METRO ES = 6.00 MTS  
METRO ES = 3.00 MTS  
METRO ES = 4.50 MTS



CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DES.V.TERM.	DES.V.INTM.	REQUISITO (PW)	PUIDO (PW)	REFLACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	4.871 CR	2810.383	1731.178	57.617 DR
.0570/0	28.033 DR	19.060 CR	63000.000	44526.582	43.514 CR
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	165330.040	37.816 CR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON FOLA CION SENAL A PUIDO DE 59.433P DR PARA UN PUIDO DE 1139.257 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 3.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DES.V.TERM.	DES.V.INTM.	REQUISITO (PW)	PUIDO (PW)	REFLACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	4.871 CR	2810.383	1731.178	57.617 DR
.0570/0	28.033 DR	19.060 CR	63000.000	44526.582	43.514 CR
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	165330.040	37.816 CR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON FOLA CION SENAL A PUIDO DE 59.433P DR PARA UN PUIDO DE 1139.257 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DES.V.TERM.	DES.V.INTM.	REQUISITO (PW)	PUIDO (PW)	REFLACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	4.871 CR	2810.383	1731.178	57.617 DR
.0570/0	28.033 DR	19.060 CR	63000.000	44526.582	43.514 CR
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	165330.040	37.816 CR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON FOLA CION SENAL A PUIDO DE 59.433P DR PARA UN PUIDO DE 1139.257 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	RUIDO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.721 DB	4.871 DB	2518.393	1731.178	57.617 DB
.0570/0	26.633 DB	19.040 DB	63000.000	44520.582	42.514 DB
.011 0/0	31.770 DB	21.333 DB	1000000.000	165335.040	37.816 DB

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA R = 284.330 KM. CON FELA CION SENAL A RUIDO DE 50.4338 DB PARA UN RUIDO DE 1139.257 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50CMTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	RUIDO (PW)	RELACION S/N
20.0000/0	7.721 DB	4.871 DB	2518.393	1731.178	57.617 DB
.0570/0	26.633 DB	19.040 DB	63000.000	44520.582	42.514 DB
.011 0/0	31.770 DB	21.333 DB	1000000.000	165335.040	37.816 DB

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA R = 284.330 KM. CON FELA CION SENAL A RUIDO DE 50.4338 DB PARA UN RUIDO DE 1139.257 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 6.00CMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50CMTS.

CONFIABILIDAD = 99.9888 0/0

POT. TRANSMIT. = 250.0 W  
 \*\*\*\*\*

DIAM. ANT. POT. RECEPIDA UMBRAL RECIB. MARC. DEF. S/V. PFL. S/N. INTX. PFL. S/N. PDDM.

ENLACE NUMERO = 1

3.0 MTS.	-68.4635 [PM	-97.0000 [PM	28.5375 DR	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-68.9668 [PM	-97.0000 [PM	36.0332 DR	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-55.3403 [PM	-97.0000 [PM	41.6368 [PM	79.3823 FR	82.6234 DR	64.9895 DR

ENLACE NUMERO = 2

3.0 MTS.	-50.6548 [PM	-97.0000 [PM	46.3452 DR	84.0876 DR	67.8047 DR	63.2820 DR
4.5 MTS.	-48.6601 [PM	-97.0000 [PM	48.8268 [PM	86.2824 DR	87.4640 DR	65.1693 DR
6.0 MTS.	-40.7354 [PM	-97.0000 [PM	56.2648 [PM	96.0070 DR	97.4687 DR	65.2204 DR

ENLACE NUMERO = 3

3.0 MTS.	-62.6897 [PM	-97.0000 [PM	34.5103 [PM	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-53.8349 [PM	-97.0000 [PM	43.1651 [PM	80.9075 DR	81.2355 DR	65.0081 DR
6.0 MTS.	-46.5461 [PM	-97.0000 [PM	50.4598 [PM	88.2073 DR	90.1919 DR	65.1932 DR

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE DEFV. TEMP. DEFV. INTX. DEFV. INTX (PV) DEFV. INTX (FW) RELACION S/N

23.0000/0	7.821 DR	4.871 DR	7818.389	1884.024	57.734 DR
.0570/0	28.033 FR	16.000 FR	43000.000	28644.328	44.098 DR
.011 0/0	31.770 FR	21.333 FR	100000.000	141868.864	28.480 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON PFLA CION SENAL A BUENOS AIRES PARA UN BUENOS AIRES 1120.487 BU  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 1 EL DIAMETRO ES = 6.00 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 2 EL DIAMETRO ES = 3.00 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 3 EL DIAMETRO ES = 4.50 MTS

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO						
PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (EN)	PUISO (PV)	REFLACION S/M	
20.0000/0	7.221 DR	4.971 DR	2818.363	1684.924	57.734 DR	
.0570/0	28.033 DR	19.060 DR	63000.000	38944.328	44.096 DR	
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	141868.896	38.480 DR	
3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON RELACION SENAL A PUISO DE 59.4673 DR PARA UN PUISO DE 1130.467 PV						
PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAMETRO FS= 6.00MTS.						
PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAMETRO FS= 3.00MTS.						
PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAMETRO FS= 6.00MTS.						
CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO						
PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	PUISO (PV)	REFLACION S/M	
20.0000/0	7.221 DR	4.971 DR	2818.363	1684.924	57.734 DR	
.0570/0	28.033 DR	19.060 DR	63000.000	38944.328	44.096 DR	
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	141868.896	38.480 DR	
3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON RELACION SENAL A PUISO DE 59.4673 DR PARA UN PUISO DE 1130.467 PV						
PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAMETRO FS= 6.00MTS.						
PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAMETRO FS= 4.50MTS.						
PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAMETRO FS= 4.50MTS.						
CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO						
PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	PUISO (PV)	REFLACION S/M	
20.0000/0	7.221 DR	4.971 DR	2818.363	1684.924	57.734 DR	
.0570/0	28.033 DR	19.060 DR	63000.000	38944.328	44.096 DR	
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	141868.896	38.480 DR	
3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON RELACION SENAL A PUISO DE 59.4673 DR PARA UN PUISO DE 1130.467 PV						
PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAMETRO FS= 4.00MTS.						
PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAMETRO FS= 4.50MTS.						
PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAMETRO FS= 4.00MTS.						

CALCULO DEL SISTEMA CUMPLETO  
\*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV. TERM.	DESV. INTM.	REQUISITO (PW)	PUISO (PW)	PELACION S/N
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP	2818.383	1484.924	57.734 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP	18000.000	38966.328	44.004 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP	1000000.000	141858.804	38.640 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON PFLA CION SENAL A PUISO DE 50.4673 DP PARA UN PUISO DE 1130.487 DP  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAMETRO ES= 6.0UMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAMETRO ES= 6.0UMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAMETRO ES= 4.5UMTS.

CALCULO DEL SISTEMA CUMPLETO  
\*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV. TERM.	DESV. INTM.	REQUISITO (PW)	PUISO (PW)	PELACION S/N
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP	2818.383	1484.924	57.734 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP	18000.000	38966.328	44.004 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP	1000000.000	141858.804	38.640 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON PFLA CION SENAL A PUISO DE 50.4673 DP PARA UN PUISO DE 1130.487 DP  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAMETRO ES= 6.0UMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAMETRO ES= 6.0UMTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAMETRO ES= 4.5UMTS.

CONFIABILIDAD = 99.968 0/0

PDI TRANSMIT. = 300.0 W  
 \*\*\*\*\*

DIAM. ANT.      FOT. RECIPIDA      UPAL RECTR.      MAG. CFSVAN. DEL. S/N TERM. DEL. S/N INTM. DEL. S/N PPOH.

ENLACE NUMERO= 1

3.0 MTS.	-87.8717 DBM	-87.0000 DBM	20.3289 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-80.1450 DBM	-87.0000 DBM	37.8050 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-84.9483 DBM	-87.0000 DBM	47.4317DB	80.1741 DB	88.6214 DB	66.0180 DB

ENLACE NUMERO= 2

3.0 MTS.	-89.8430 DBM	-87.0000 DBM	47.1769 DB	84.8704 DB	87.6047 DB	81.2080 DB
4.5 MTS.	-87.8483 DBM	-87.0000 DBM	46.3317DB	87.0747 DB	87.4040 DB	85.1740 DB
6.0 MTS.	-86.8434 DBM	-87.0000 DBM	57.0564DB	94.7068 DB	87.4487 DB	85.2214 DB

ENLACE NUMERO= 3

3.0 MTS.	-81.6979 DBM	-87.0000 DBM	38.3021 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-83.6431 DBM	-87.0000 DBM	43.8499DB	81.8593 DB	81.2255 DB	85.0260 DB
6.0 MTS.	-85.7443 DBM	-87.0000 DBM	51.2517DB	88.9543 DB	90.1919 DB	85.1548 DB

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO

\*\*\*\*\*

PORCENTAJE	RESV. TERM.	RESV. INTM.	REQUISITO (DB)	PUNTO (DB)	REFLACION S/N
20.0000/0	7.221 DB	4.871 DB	2814.382	1464.088	57.814 DB
0.970/0	28.433 DB	10.310 DB	17000.000	35226.815	44.931 DB
0.011 0/0	31.770 DB	23.333 DB	1600000.000	126272.053	38.987 DB

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.370 KM, CON BILA CDM SFWAL Y PUNTO DE 59.4809 DB PARA UN PUNTO DE 1124.640 DB  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 1 EL DIAPETRO ES= 6.00 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 2 EL DIAPETRO ES= 3.00 MTS  
 PARA EL ENLACE NUMERO= 3 EL DIAPETRO ES= 4.50 MTS

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	EXISTO (PV)	RELACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	6.871 FR	2212.323	1454.04F	57.214 DR
.0570/0	21.033 DR	19.060 FR	63000.000	32224.815	44.531 DR
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	126272.003	38.097 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 286.330 KM. CON SEÑAL A SUJITO DE 50.4400 DP PARA UN SUJITO DE 1174.640 PV  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.500PTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.500PTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 4.500PTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	EXISTO (PV)	RELACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	6.871 FR	2212.323	1454.04F	57.214 DR
.0570/0	21.033 DR	19.060 FR	63000.000	32224.815	44.531 DR
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	126272.003	38.097 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 1286.330 KM. CON SEÑAL A SUJITO DE 50.4400 DP PARA UN SUJITO DE 1174.640 PV  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.500PTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.500PTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 4.500PTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	EXISTO (PV)	RELACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	6.871 FR	2212.323	1454.04F	57.214 DR
.0570/0	21.033 DR	19.060 FR	63000.000	32224.815	44.531 DR
.011 0/0	31.770 DR	21.333 DR	1000000.000	126272.003	38.097 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 286.330 KM. CON SEÑAL A SUJITO DE 50.4400 DP PARA UN SUJITO DE 1174.640 PV  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES 6.500PTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES 4.500PTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES 4.500PTS.

a1.41

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
\*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV. TEMP.	DESV. INTM.	FRUITSITO (PM)	BUJCO (PM)	RELACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	4.071 DR	2818.383	1654.088	57.814 DR
.0576/0	28.633 DR	19.060 DR	63000.000	35226.815	44.531 DR
.011 0/0	81.770 DR	21.333 DR	1000000.000	126272.053	38.987 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON PELA CION SENAL A BUJCO DE 50.4800 DR PARA UN BUJCO DE 1124.640 PM  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 6.50MTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
\*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV. TEMP.	DESV. INTM.	FRUITSITO (PM)	BUJCO (PM)	RELACION S/N
20.0000/0	7.221 DR	4.071 DR	2818.383	1654.088	57.814 DR
.0576/0	28.633 DR	19.060 DR	63000.000	35226.815	44.531 DR
.011 0/0	81.770 DR	21.333 DR	1000000.000	126272.053	38.987 DR

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON PELA CION SENAL A BUJCO DE 50.4800 DR PARA UN BUJCO DE 1124.640 PM  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 6.50MTS.

CONFIABILIDAD = 99.9888 0/0



POT. TRANSMIT. = 500.0 W  
 \*\*\*\*\*

DIAM. ANT.	POT. EFICAZ	UMPAJAL RECER.	MAR. DEFSVAH.	REFL. S/N TFRM.	REFL. S/N INTY.	REFL. S/N PBRM.
<b>ENLACE NUMERO = 1</b>						
3.0 MTS.	-65.4532 DBM	-97.0000 DBM	33.5468 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-97.9745 DBM	-97.0000 DBM	35.0255 DB	*****	*****	*****
6.0 MTS.	-52.3468 DBM	-97.0000 DBM	44.6532 DB	87.3074 DB	87.6214 DB	65.0693 DB
<b>ENLACE NUMERO = 2</b>						
3.0 MTS.	-47.6445 DBM	-97.0000 DBM	45.3555 DB	87.0979 DB	87.8047 DB	63.3000 DB
4.5 MTS.	-45.4498 DBM	-97.0000 DBM	51.5502 DB	85.2027 DB	87.4540 DB	65.1862 DB
6.0 MTS.	-37.7253 DBM	-97.0000 DBM	59.2747 DB	97.0373 DB	97.4687 DB	65.2233 DB
<b>ENLACE NUMERO = 3</b>						
3.0 MTS.	-59.4704 DBM	-97.0000 DBM	37.5296 DB	*****	*****	*****
4.5 MTS.	-50.8244 DBM	-97.0000 DBM	46.1756 DB	83.9378 DB	81.2355 DB	65.0643 DB
6.0 MTS.	-43.5296 DBM	-97.0000 DBM	53.4704 DB	91.2124 DB	89.1939 DB	65.2043 DB

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PORCENTAJE	DESV. TEMP.	DESV. INTY.	REQUISITO (FN)	REQUIC (PV)	REFLACION S/N
20.0000/0	7.221 DB	4.871 DB	2818.382	1502.414	27.575 DB
.0970/0	28.033 DB	19.060 DB	63000.000	27791.759	45.581 DB
.031 0/0	31.770 DB	21.333 DB	1000000.000	65638.356	40.222 DB

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 264.330 KM. CON PELA CIION SENAL A OUTOR DE 50.952 DB PARA UN RUIFO DE 1312.947 PW  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 1 EL DIAMETRO FS = 4.00 PMS  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 2 EL DIAMETRO FS = 2.00 PMS  
 PARA EL ENLACE NUMERO = 3 EL DIAMETRO FS = 4.50 PMS

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	REQU (PV)	REQU (PV)	DESV.TERM.	DESV.INTM.
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP	2010.303	1592.414	1592.414	7.221 DP	4.871 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP	43000.000	27701.750	27701.750	28.033 DP	19.040 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP	1000000.000	95018.354	95018.354	31.770 DP	21.333 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON SELA CION SEÑAL A REQUERIDO DE 50.2343 DP PARA UN  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 3.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	REQU (PV)	REQU (PV)	DESV.TERM.	DESV.INTM.
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP	2010.303	1592.414	1592.414	7.221 DP	4.871 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP	43000.000	27701.750	27701.750	28.033 DP	19.040 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP	1000000.000	95018.354	95018.354	31.770 DP	21.333 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON SELA CION SEÑAL A REQUERIDO DE 50.2343 DP PARA UN P  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.

CALCULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.	REQUISITO (PV)	REQU (PV)	REQU (PV)	DESV.TERM.	DESV.INTM.
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP	2010.303	1592.414	1592.414	7.221 DP	4.871 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP	43000.000	27701.750	27701.750	28.033 DP	19.040 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP	1000000.000	95018.354	95018.354	31.770 DP	21.333 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON SELA CION SEÑAL A REQUERIDO DE 50.2343 DP PARA UN P  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.

ULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON SELA CION SEÑAL A REQUERIDO DE 50.2343 DP PARA UN P  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.

ULO DEL SISTEMA COMPLETO  
 \*\*\*\*\*

PERCENTAJE	DESV.TERM.	DESV.INTM.
20.0000/0	7.221 DP	4.871 DP
.0570/0	28.033 DP	19.040 DP
.011 0/0	31.770 DP	21.333 DP

3 ENLACES SOBRE DISTANCIA D = 284.330 KM. CON SELA CION SEÑAL A REQUERIDO DE 50.2343 DP PARA UN P  
 PARA EL ENLACE NUMERO 1 EL DIAMETRO ES= 6.00MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 2 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.  
 PARA EL ENLACE NUMERO 3 EL DIAMETRO ES= 4.50MTS.

ABILIDAD = 99.9998 0/0

a1.46

FACULTAD DE INGENIERIA UNAB

APENDICE 2.

Rec. 311

## RECOMENDACIÓN 311 \*

PRESENTACIÓN DE DATOS EN LOS ESTUDIOS RELATIVOS  
A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

El C. C. I. R.,

(1953 — 1956 — 1959)

## CONSIDERANDO:

- a) Que los ingenieros encargados de organizar los servicios de radiodifusión y televisión y los circuitos entre puntos fijos en la banda de frecuencias comprendida entre 30 4000 MHz, necesitan con urgencia normas para orientar sus trabajos;
- b) Que importa determinar la influencia que en la intensidad de campo en esta banda de frecuencias tienen las condiciones meteorológicas y la naturaleza del terreno en lugares situados tanto a un lado como a otro de la línea del horizonte;
- c) Que para facilitar la comparación de los resultados conviene que las administraciones y empresas privadas de explotación presenten de manera uniforme los datos relativos a la intensidad de campo, y
- d) Que todavía no se puede fijar definitivamente la forma en que han de presentarse los resultados ni el método de análisis estadístico que más conviene a las necesidades expuestas en a) y b),

## RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que siempre que sea posible se determinen las intensidades de campo rebasadas durante un 0,1 %, 1 %, 10 %, 50 %, 90 %, 99 % y 99,9 % del tiempo total, para todas las ubicaciones en que se hagan mediciones;
2. Que en el caso de la radiodifusión y de la televisión, se determinen los valores medianos de las intensidades de campo rebasadas en un 10 %, 50 % y 90 % de las ubicaciones;
3. Que se complete esta estadística global con un análisis más minucioso y preciso, inspirándose a tal efecto en los métodos propuestos en el Anexo I a la presente Recomendación, en el documento 172 (Francia), de Varsovia, 1956, o en el documento V/28 (Francia), de Ginebra, 1958;
4. Que se presenten los resultados estadísticos de las mediciones de intensidad de campo en papel especial para el estudio de probabilidades, debiendo llevarse al eje de ordenadas los valores de la intensidad de campo expresados en decibelios con relación a un microvoltio por metro, en orden creciente de abajo a arriba, y al eje de abscisas, el porcentaje del tiempo total del registro considerado, o el porcentaje de ubicaciones, según una escala de acuerdo con la ley de probabilidades de Gauss y en orden creciente de izquierda a derecha. En el Anexo II puede verse un ejemplo de distribución logarítmica normal representada en papel para estudios de probabilidades;
5. Que se normalicen todos los valores medidos de intensidad de campo para que correspondan con los que se obtendrían con un dipolo vertical de media onda o con un dipolo horizontal de media onda perpendicular a la dirección de recepción, hallándose situado el dipolo en ambos casos a una altura de varias longitudes de onda por encima del suelo y radiando una potencia de 1 kW, y
6. Que en el caso de la radiodifusión y de la televisión se refieran las mediciones, siempre que sea posible, a una antena receptora situada a 10 metros de altura sobre el suelo, y que esta antena no sea muy directiva en el plano vertical.

\* Reemplaza a la Recomendación 170.

Rec. 311

## ANEXO I

Adviértase que las recomendaciones precedentes se refieren en particular a la propagación de las ondas a largas distancias (sobre todo, en relación con los problemas de interferencia en la radiodifusión sonora y en la televisión) y a las características de propagación en las zonas de servicio de las estaciones de radiodifusión sonora y de televisión. Si bien en estos casos lo que más interesa es determinar los valores de la intensidad de campo rebasados durante diversos porcentajes del tiempo total a distintas distancias, para un estudio más detallado quizás sería conveniente analizar las mediciones durante períodos de una hora. Esto permitiría estudiar las variaciones diurnas, en tanto que las variaciones estacionales podrían estudiarse agrupando los valores obtenidos a determinadas horas del día durante un mes completo y examinando las variaciones de un mes a otro de la distribución de las intensidades de campo. Este procedimiento permitiría, además, establecer ulteriormente la correlación de los resultados así presentados con los datos meteorológicos.

Para el estudio de la propagación de las ondas métricas, decimétricas o centimétricas, en circuitos fijos a distancia óptica puede ser necesaria una correlación más precisa entre la intensidad de campo recibida y las condiciones atmosféricas reinantes. Por esta y otras razones se considera que los resultados deberían poder presentarse para cada hora del día de cada mes en que se efectúan las pruebas. Al propio tiempo sería necesario establecer curvas de distribución para períodos de un mes, para facilitar el estudio de las variaciones estacionales; los ingenieros encargados de preparar planes necesitarán también, sin duda, curvas de distribución para períodos más largos. Por regla general, será conveniente referir los resultados al valor del campo en espacio libre para la distancia y demás condiciones consideradas.

Aunque normalmente será preferible conservar para consulta los gráficos originales de las intensidades de campo medidas, es indispensable prever un modo de presentación de los datos más sencillo y asequible llevando, por ejemplo, a un papel de escala lineal los valores máximos, mediano y mínimo de la intensidad de campo para cada hora y representando la dispersión de los resultados horarios por una línea vertical. Además, al determinar los valores medianos horarios o los valores horarios correspondientes a otros porcentajes de tiempo, se puede obtener la distribución estadística de los valores correspondientes a una hora dada durante un mes (o cualquier otro período que se desee).

## ANEXO II

Una escala de probabilidad se define por

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} -\frac{1}{t^2} dt$$

Con abscisas  $x = 0$ ,  $x \rightarrow \infty$  y  $x \rightarrow -\infty$ , los valores correspondientes de la probabilidad  $P(x)$  son 50 %, 0 % y 100 %.

Una distribución normal de la amplitud  $F$  de una intensidad de campo medida en dB (distribución logarítmica normal) se obtiene por

$$P(F) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_F^{\infty} -\frac{1}{e} + \left(\frac{F - F_m}{\sigma}\right)^2 df$$

$P(F)$  es la probabilidad (porcentaje de tiempo o de ubicaciones) de que la intensidad de campo  $E$ , expresada en dB por encima de  $1 \mu\text{V/m}$  ( $F = 20 \log E$ ) rebasa el nivel  $F$ .

$F_m$  es el valor mediano de  $F$ , es decir, el rebasado durante el 50 % del tiempo o en el 50 % de ubicaciones, y  $\sigma$  es la desviación normal, de suerte que  $P(F_m - \sigma) \approx 84\%$ , y  $P(F_m + \sigma) \approx 16\%$ .

Suele ser de interés conocer la intensidad de campo rebasada durante el 1 % o el 10 % del tiempo; cuando la distribución es logarítmica normal, la curva de distribución es una línea recta, y las desviaciones correspondientes se dan por 2,32  $\sigma$  y 1,28  $\sigma$ .

## Rec. 311, 368

La siguiente figura ilustra la presentación de una distribución logarítmica normal.

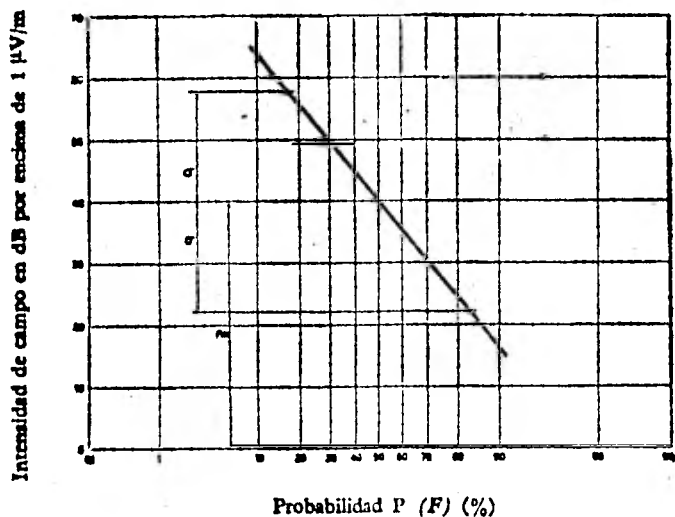


Gráfico de una distribución logarítmica normal de mediciones de intensidad de campo

## RECOMENDACIÓN 368 \*

**CURVAS DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE SUPERFICIE  
PARA FRECUENCIAS INFERIORES A 10 MHz**

(Cuestión 246)

El C. C. I. R.,

(1951 — 1952 — 1963)

**CONSIDERANDO:**

- 1) Que las curvas de propagación de la onda de superficie en una amplia gama de frecuencias, tienen una importancia cada vez mayor para todos los tipos de radiocomunicaciones, inclusive las ayudas a la navegación, y
- 2) Que es necesario disponer de una familia de estas curvas que corresponda a numerosos valores de la conductividad del suelo, si se quiere aplicarlas a las condiciones diversas que se encuentran en la práctica a lo largo de los trayectos terrestres,

**RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:**

que se adopten las curvas adjuntas (véase el Anexo), utilizándolas en las condiciones indicadas en el texto que a ellas se acompaña, para la determinación de la intensidad de campo de la onda de superficie de frecuencias inferiores a 10 MHz.

\* Reemplaza a la Recomendación 307.

Rec. 369-1

## RECOMENDACIÓN 369-1

## DEFINICIÓN DE UNA ATMÓSFERA FUNDAMENTAL DE REFERENCIA

El C. C. I. R.,

(1959 — 1963 — 1966)

## CONSIDERANDO:

Que la variación del índice de refracción  $n$  de la atmósfera en función de la altura  $h$  en las frecuencias radioeléctricas queda expresada de manera satisfactoria por la ley

$$n(h) = 1 + a.e^{-bh}$$

siendo  $a$  y  $b$  constantes que se pueden determinar por métodos estadísticos para diferentes climas (véase el Informe 231-1),

## RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

Que la atmósfera fundamental de referencia se defina por la relación

$$n(h) = 1 + 289 \times 10^{-6}.e^{-0.125h}$$

en la que  $h$  es la altura en kilómetros sobre el nivel del mar.

*Nota.*—El gradiente del índice de refracción que da esta atmósfera en la superficie del suelo es sensiblemente igual al de una atmósfera cuyo efecto puede representarse por un radio equivalente igual a 4/3 del radio real de la Tierra.



I. 232

## INFORME 232\*

CONSTANTES DE LA ECUACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN  
RADIOELÉCTRICA

(Cuestión 2/IV)

(1963)

En el Anexo al Programa de estudios 192 (V), el C. C. I. R. da, para el parámetro  $N = (n - 1) \cdot 10^6$ , la siguiente fórmula:

$$N = (77,6/T)(p + 4.810 e/T);$$

$n$  = índice de refracción del aire;

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

$e$  = presión de vapor de agua (mb);

$p$  = presión atmosférica total (mb).

El C. C. I. R. ha empleado esta fórmula en muchos de sus trabajos, entre ellos en el Informe 233-1.

En las Asambleas generales de la U. I. G. G. (Helsinki, 1960) y de la U. R. C. I. (Londres, 1960) se han recomendado fórmulas algo diferentes en las que intervienen otras unidades. Uno de los estudios sobre esta materia [1] revela que el C. C. I. R. debe seguir utilizando la fórmula establecida por él, con las unidades citadas, que parece algo más exacta que las de la U. R. C. I. y la U. I. G. G. y que, en todo caso, se adapta perfectamente a las necesidades del C. C. I. R. en lo que atañe a la determinación del índice de refracción radioeléctrica de la atmósfera, dados los errores cometidos en las medidas de la temperatura, presión atmosférica y presión del vapor de agua.

Sería conveniente que todas las organizaciones adoptasen una fórmula única con unidades idénticas y homogéneas.

*Nota.*—El Director del C. C. I. R. debería transmitir el presente Informe a la U. I. G. G. y a la U. R. C. I., rogándoles se sirvan formular observaciones sobre el mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BEAN, B. R.: The refractive index of air, *Proc. I. R. E.*, Vol. 50, 3, 260-273 (marzo de 1962).

\* Adaptado por unanimidad.

I. 233-1

## INFORME 233-1 \*

INFLUENCIA DE LAS REGIONES NO IONIZADAS DE LA ATMÓSFERA  
EN LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

## Propagación suelo-suelo

(Cuestión 2/V)

(1959 — 1963 — 1966)

## 1. Introducción.

En el presente Informe se estudian la influencia de la atmósfera en la propagación de las ondas y la elección de los parámetros radiometeorológicos, acompañándose al mismo mapas de las características del índice de refracción, para su uso en los problemas prácticos de propagación.

Los problemas de propagación en los cuales interviene la atmósfera, pueden clasificarse de forma diferente:

- 1.1 En función del elemento que se mide, por ejemplo, una distancia, un ángulo, una pérdida de transmisión.
- En la medición de una distancia interviene directamente el índice de refracción del aire en forma de una integral

$$l = \int n ds$$

en la cual  $l$  es la longitud eléctrica del trayecto  $S$ ,  $n$  el índice de refracción en cualquier punto de trayecto y  $ds$  el incremento de longitud a lo largo del trayecto;

- En la medición de un ángulo interviene el gradiente del índice de refracción, puesto que la curvatura de un trayecto en un punto es directamente proporcional al gradiente del índice de refracción en ese punto;
- La pérdida de transmisión en la propagación transhorizonte es función de algunos parámetros radiometeorológicos, tales como el gradiente del índice de refracción y la estabilidad de la atmósfera.

## 1.2 En función del ángulo en que se atraviesa la atmósfera.

Si el trayecto atraviesa la atmósfera en un ángulo de elevación relativamente grande, por ejemplo, en el caso de enlace con satélite, la atmósfera no interviene más que como un término de corrección con respecto a la propagación en el vacío. Este término es pequeño para ángulos de elevación grandes, y resulta difícil calcularlo con precisión en el caso de pequeños ángulos de elevación, por lo que interesa evitarlos. Un modelo sencillo de la atmósfera es suficiente para evaluar esta corrección.

Si el trayecto permanece fijo en las capas inferiores de la atmósfera, por ejemplo en el caso de enlaces de relevadores radioeléctricos, la atmósfera desempeña un papel importante, en especial en el caso de los relevadores radioeléctricos transhorizonte (distintos de los que utilizan la difracción), para los cuales no habría enlace posible sin la intervención de la atmósfera. En este caso, si pudiera concebirse un modelo de atmósfera, sería por completo diferente del anterior.

\* Adoptado por unanimidad.

## I. 233-1

## 2. Correlación entre la propagación transhorizonte y parámetros radiometeorológicos.

El estudio cuantitativo de la influencia de los fenómenos radiometeorológicos en la propagación ha dado origen a numerosos trabajos, pero sería ilusorio considerar que el problema está definitivamente resuelto.

Desde hace varios años ha habido que tener en cuenta en muchas mediciones hechas en países de clima templado la variación vertical del índice de refracción. Para simplificar el problema se ha representado la atmósfera por la diferencia  $10^6 \Delta N$  entre el índice de refracción a 1 km. de altura y el correspondiente al nivel del suelo. En cierto número de casos se ha determinado en teoría y se ha comprobado experimentalmente que existe una correlación entre las variaciones del campo observado y la cantidad  $\Delta N$ . Esta correlación sólo se ha podido poner claramente de manifiesto en los climas templados cuando la comparación se hace a base de valores medianos mensuales, o por lo menos semanales [1, 2, 3 y 4].

Utilizando valores medios anuales, se ha introducido una atmósfera radioeléctrica normal a la que corresponde un radio terrestre equivalente igual a  $4/3$  del radio terrestre verdadero. Más tarde, se ha propuesto una atmósfera de referencia de base, en la que  $N$  varía exponencialmente con la altura.

Se ha introducido la noción de gradiente equivalente, que es el gradiente ficticio constante que produce, cuando reemplaza a los gradientes reales en un trayecto dado, los mismos efectos de refracción [5].

Además, se han mejorado las correlaciones entre el gradiente ( $\Delta N$  o gradiente equivalente) y las características del campo observado (intensidad, fluctuaciones) considerando parámetros que dependen de la estabilidad de la atmósfera que se evalúa ya sea por el número de Richardson [6], ya por el trabajo necesario para elevar 1 km. una masa de aire unidad en la región de la base del «volumen común» [7]. Estas dos cantidades conducen, por otra parte, a resultados comparables. Para representar las variaciones de la atmósfera ha habido, pues, que estudiar un parámetro que incluye la suma del gradiente de índice (o mejor aún, del gradiente equivalente) y de un término proporcional a la estabilidad [8, 9]. Aun cuando los resultados obtenidos por este procedimiento sean alentadores, no se dispone de bastante información para generalizarlos [10].

Se ha estudiado también una función del índice de refracción potencial [11]. Adviértase que el gradiente de este índice potencial está teóricamente relacionado con la medida de la estabilidad atmosférica.

Se ha comprobado en ciertos casos que existe una correlación entre el gradiente vertical del índice de refracción y el valor de este índice en la superficie de la Tierra [2, 12, 13 y 14].

Se ha comprobado igualmente que existe una correlación entre la intensidad de campo observada y los valores del índice de refracción en la superficie [15 y 16]. No obstante, esto no se produce, al parecer, más que cuando existe una buena correlación entre el gradiente vertical del índice de refracción (por ejemplo  $\Delta N$ ) y el valor de este índice en la superficie [2, 12, 13 y 14]. Tomando como base datos estadísticos meteorológicos, es más fácil determinar el valor del índice de refracción en la superficie que el del gradiente de índice; para determinar éste es necesario efectuar medidas con radiosondas que, en general, se hacen diariamente en los observatorios meteorológicos mundiales, a horas precisas. Se ha estudiado a fondo en los Estados Unidos la correlación entre la intensidad de campo y el valor del índice de refracción en la superficie, muy superiores a la del horizonte, habiéndose hallado entre los valores medianos coeficientes de correlación de 0,75 por lo menos para períodos de unos 10 días. En los climas templados se ha observado que el mes correspondiente a la pérdida mayor de transmisión es también el que corresponde a los valores menores de  $N_s$ .

Si en estas regiones la variación anual de la media mensual de  $N_s$  es pequeña (inferior a  $10 - 15 N$  aproximadamente), no es de esperar una buena correlación entre la variación de la pérdida de propagación y el valor medio mensual de  $N_s$ .

En otros climas, los datos de correlación no permiten llegar a ninguna conclusión. Ciertas medidas han revelado una buena correlación [17, 18], y otras, una mala correlación [19]. En este último caso, la correlación parece satisfactoria, salvo durante el período del año en el que  $N_s$  rebasa 350 aproximadamente. Sin embargo, la aplicación de este valor como criterio mundial debe efectuarse con prudencia. Con los pocos valores de medida del campo de que se dispone para el sur de Estados Unidos (valores medidos en verano,

## I. 233-1

cuando  $N$ , rebasa 350), se encuentra que la correlación con  $N$ , es casi la misma que en los meses de invierno. En uno de estos estudios [21] donde se han calculado las regresiones con arreglo a los ciclos anuales de la media mensual de  $N$ , y del campo mediano mensual, el coeficiente de correlación medio de 9 trayectos, en los que las medias de  $N$ , estaban comprendidas entre los valores aproximados de 360 y 370 durante el verano, era de 0,70, mientras que en los 11 trayectos restantes, en los que  $N$ , era generalmente inferior a 350, se comprobó que la correlación media no pasaba de 0,69. La causa de la disminución de la correlación observada en las demás regiones del mundo parece demasiado compleja para poder representar esa disminución mediante un parámetro tan simple como  $N$ , y que tenga por origen las características verticales de las masas de aire (por ejemplo, la subsidencia).

$N$ , suele ser útil para predecir las variaciones regionales, estacionales y diurnas de las pérdidas de transmisión, pero, en cambio, no es de gran utilidad para predecir esas variaciones en las regiones tropicales y ecuatoriales.

Por esta razón, se estima necesario proseguir estos estudios en regiones del mundo de climas diversos.

No sólo es importante considerar las variaciones del índice de refracción en lo que concierne a las variaciones de la intensidad de campo o de las pérdidas de transmisión, sino también con respecto a la refracción de las ondas radioeléctricas que atraviesan la troposfera [18, 20]. Los estudios efectuados en Estados Unidos arrojan una correlación satisfactoria entre las variaciones de la curvatura y las del gradiente vertical o los valores del índice de refracción en la superficie [20]. De una manera general, el valor del índice de refracción en la superficie presenta una buena correlación con la refracción para ángulos de elevación de  $1^\circ$  o superiores, pero para ángulos inferiores a  $1/2^\circ$ , convendrá tener en cuenta el gradiente vertical. Deben proseguirse los estudios para establecer la correlación con ángulos de elevación muy pequeños (menos de  $1^\circ$ ) puesto que no es seguro que pueda establecerse una correlación por poco satisfactoria que sea en esos casos y en todas las condiciones climatológicas.

Además del valor medio de  $\Delta N$ , puede ser útil conocer la ley de distribución del gradiente en las proximidades del suelo.

El conocimiento de estas variaciones es importante para determinar las probabilidades de interferencia entre estaciones y los fenómenos de conducción atmosférica que puede perturbar los enlaces con visibilidad directa.

No parece posible preparar mapas mundiales del gradiente equivalente o de los parámetros de estabilidad mencionados, pero se han preparado mapas mundiales tanto para el gradiente vertical como para el índice de refracción en la superficie y para cada estación del año. Estos mapas están destinados a los ingenieros de telecomunicación. Es urgente realizar estudios sistemáticos para determinar en un plano mundial la correlación entre estos parámetros y las variaciones de la propagación radioeléctrica, de conformidad con la Cuestión 2/V.

A título informativo se señala que si  $\Delta A$  representa la variación de la media mensual de las pérdidas de transmisión en dB;  $\Delta(N_i)$  la variación de la media mensual de  $N$ , en unidades  $N$ ;  $\Delta(\Delta N)$  la variación de la media mensual de  $\Delta N$  en unidades  $N$ ;  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  los coeficientes de proporcionalidad en unidades correspondientes, puede escribirse entonces:

$$\Delta A = \alpha_1 \Delta(N_i) \text{ y } \Delta A = \alpha_2 \Delta(\Delta N)$$

Se ha encontrado experimentalmente que:

$$\alpha_1 = 0,2 \text{ en Estados Unidos y Japón}$$

$$= 0,6 \text{ en Francia y en la República Federal de Alemania.}$$

El documento V/45, Ginebra, 1965, demuestra que  $\alpha_1$  varía con la distancia.

$$\alpha_1 = 0,5 \text{ en los Estados Unidos y Japón,}$$

$$= 0,9 \text{ en Francia, pero en determinados años no se ha observado proporcionalidad alguna entre } \Delta A \text{ y } \Delta(\Delta N),$$

$$\alpha_1 = \text{no ha sido medido ni en la República Federal de Alemania ni en la Unión Soviética.}$$

La validez de estas proporcionalidades no ha sido establecida en el Reino Unido. No se dispone de los valores de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  para los restantes países.

## I. 233-1

## 3. Mapas del índice de refracción en el suelo.

Se estudia a continuación la cantidad  $N$  definida por  $N = (n - 1) \cdot 10^4$ , donde  $n$  es el índice de refracción del aire. Se toma para  $N$  su valor medio mensual.

Sabido es que sistemáticamente  $N$  disminuye con la altura. Para no confundir las variaciones de  $N$  debidas a la altura  $h$  de un observatorio y las debidas a la climatología es interesante tratar de calcular el valor que tendría  $N$  referido al nivel del mar.

En tal caso, puede corregirse cada valor de  $N$  medido en el suelo por un factor mayor que la unidad para obtener el valor  $N_0$  que alcanza  $N$  al nivel del mar.

Este procedimiento permite paliar la dificultad que presenta la preparación de mapas de  $N$ . Puesto que no es posible obtener un valor «correcto» de  $N_0$ , puede, en cierto modo, hacerse una elección arbitraria del método que ha de utilizarse. Sin embargo, para que  $N_0$  sea perfectamente representativo de la atmósfera en un lugar dado, es necesario y suficiente que sea aplicable la ley exponencial  $N(h)$ . Para calcular  $N_0$  se utiliza una función exponencial única con una constante fija.

Se ha estudiado igualmente la media mensual de  $N(h)$ . Consideraciones de orden teórico y experimental inducen a pensar que  $N(h)$  es sistemáticamente exponencial en las regiones de alta latitud. Sin embargo, dada la no homogeneidad de los datos obtenidos en las regiones intertropicales, cabe dudar de que sea aplicable en estas regiones una función exponencial o cualquier otra función elemental [14].

Las figs. 1 y 2 indican respectivamente las isopleías de los valores medios de  $N_0$  en febrero y agosto, y la fig. 3 muestra las zonas en las que  $N_0 > 350$  en valor medio mensual.

*Nota.*—Dada la escala de los mapas, el número de puntos de medida y los métodos de cálculo, el grado de incertidumbre de los valores  $N_0$  que pueden obtenerse, es del orden de algunas unidades  $N$  en las regiones templadas y de una decena de unidades  $N$  en las regiones intertropicales. La Administración de Estados Unidos de América ha hecho para su territorio un trabajo más preciso [22].

4. Mapas de  $\Delta N$ .

Para esta magnitud, parece que la altitud de la estación de observación tiene escasa importancia si el relieve no es demasiado irregular. Se ha calculado, pues,  $\Delta N$  por la fórmula:

$$\Delta N = N_2 - N_1$$

en la cual  $N_2$  es el valor de  $N$  al nivel del suelo y  $N_1$  el valor de  $N$  a 1 km por encima del suelo. Gracias a la instalación de un gran número de estaciones en las regiones en que su densidad era anteriormente muy escasa (especialmente durante el A. G. I. y después), se puede ya preparar mapas mundiales de  $\Delta N$ .

5. Preparación de los mapas de  $\Delta N$ .

Valores medios de datos meteorológicos para grandes altitudes se publican mensualmente en un periódico patrocinado por la O. M. M. con el título «Datos climatológicos mensuales mundiales». Se han seleccionado los datos obtenidos durante cinco años por 269 estaciones repartidas por todo el mundo y se han calculado los valores medios mensuales de  $\Delta N$  de estos datos, interpolando los datos correspondientes a 850 mb y los obtenidos en el suelo (en ciertos casos se han tenido que utilizar los datos correspondientes a 700 mb y para las estaciones de Estados Unidos de América, se disponía, en muchos casos, de datos correspondientes al nivel de 900 mb). Se han calculado a continuación los valores medios de cada uno de los 12 meses durante cinco años; los mapas preparados a base de estos datos se reproducen en las figs. 4 a 7. La mayor parte de los valores que figuran en estos mapas se han obtenido en observaciones hechas a las 0000 TU (en algunos casos, se dan las medias de dos observaciones por día, o más).

La aplicación de estos mapas a las regiones montañosas debe hacerse con prudencia.

## I. 233-1

## 6. Mapas del gradiente de N en las proximidades del suelo.

No es posible todavía publicar estos mapas.

En la fig. 8 es un ejemplo de la variación mundial de estas leyes de distribución del gradiente en los cien primeros metros. Aunque no sea aún suficiente el número de datos, se han publicado mapas mundiales [25] provisionales de este gradiente rebasado durante el 10 % y el 2 % del tiempo y se han comunicado a título informativo a los ingenieros de telecomunicación.

La aplicación de estos datos a un mes de un año determinado, debe hacerse con la mayor prudencia, pues las variaciones de  $N_s$  y de  $\Delta N$  de un año a otro, en un mes dado, pueden ser iguales o superiores a la variación anual de los valores medios mensuales,

## BIBLIOGRAFÍA

1. SAXTON, J. A.: Propagation of meter waves beyond the normal horizon. *Proc. I. E. E.*, Part III (1951).
2. BEAN, B. R., y MEANY, F. M.: Some applications of the monthly median refractivity gradient in tropospheric propagation. *Proc. I. R. E.*, Vol. 43, 10, 1419-1431 (octubre de 1955).
3. TROITSKY, V. N.: Fading of ultra-short waves in radio relay systems. *Elektrosviaž*, 10 (1958).
4. C. C. I. R.: Doc. V/24 (R. S. Checoslovaca), Ginebra, 1958.
5. MISME, P.: Le gradient équivalent: mesure directe et calcul théorique. *Annales des Télécommunications*, Vol. 15, 92 (1960).
6. BOLGIANO, R.: A theory of wavelength dependence in ultrahigh frequency transhorizon propagation based on meteorological considerations. *Journal of Research of the N. B. S.*, Part D, 3 (mayo-junio de 1960).
7. MISME, P.: Corrélation entre le champ a grande distance et un nouveau paramètre radiométrologique. *Transactions of PGAP*, Vol. AP-6, 3 (1958).
8. MISME, P.: Influence du gradient équivalent et rôle de la stabilité atmosphérique dans les liaisons transhorizon au Sahara et au Congo. *Annales des Télécommunications*, Vol. 16, 5-6 (1961).
9. C. C. I. R.: Doc. V/39 (Francia), Ginebra, 1962.
10. C. C. I. R.: Doc. V/57 (Estados Unidos de América), Ginebra, 1962.
11. FLAVELL, R. G., y LANE, J. A.: The application of potential refractive index in tropospheric wave propagation. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Vol. 24 (1962).
12. MISME, P.: Essai de radioclimatologie d'altitude dans le Nord de la France. *Annales des Télécommunications*, Vol. 13, 11-12 (1958).
13. LANE, J. A.: The radio refractive index gradient over the British Isles. *Jour. of Atm. and Terr. Physics*, Vol. 21 (1961).
14. MISME, P.; BEAN, B. R., y THAYER, G. D.: Models of the Atmospheric Radio Refractive Index. *Proc. I. R. E.*, Vol. 48, 8 (agosto de 1960).
15. PICKARD, G. W., y STETSON, H. T.: A study of tropospheric reception at 428 Mc/s and meteorological conditions. *Proc. I. R. E.*, 35 (diciembre de 1947).
16. BEAN, B. R.: Some meteorological effects on scattered radio waves. *I. R. E., Trans. on Comm. Systems*, Vol. CS-4, 1, 32-38 (marzo de 1956).
17. ONOE, M., y otros: Results of experiments of long-distance overland propagation of ultra-short waves. *Journal of Radio Research Laboratories*, Vol. 5, 20 (abril de 1958).
18. GRAY, R. E.: Refractive Index of the Atmosphere as a Factor in Tropospheric Propagation far beyond the horizon. *Elec. Comm.*, Vol. 36, 1959, p. 60.
19. BOITHIAS, L., y MISME, P.: Limite d'utilisation de l'indice de réfraction au sol. *Ann. des Télécomm.* 1, (19 de noviembre-diciembre de 1964).
20. BEAN, B. R., y CAHOON, B. A.: The use of surface weather observations to predict the total atmospheric bending of radio waves at small elevation angles. *Proc. I. R. E.*, Vol. 45, 11 (noviembre de 1957).
21. BEAN, B. R., y CAHOON, B. A.: Correction of monthly medium transmission loss and refractive-index profile characteristics. *Journal of Research of the N. B. S.*, 65D, No. 1, 1961.
22. BEAN, B. R.; HORN, J. D., y OZANICH, A. M. (Jr.): Climatic charts and data of the Radio refractive index for the United States and the World, NBS, Monograph 22 (noviembre de 1960). Supt. of Docs. U. S. Govt. Printing Office, Wash. 25, D. C.
23. BEAN, B. R.; CAHOON, B. A.; SAMSON, C. A., y THAYER, G. D.: *A World Wide Atlas of Radio Refractive Index*. Monograph No. 1, Environmental Sciences Services Administration. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1966.

I. 233-1

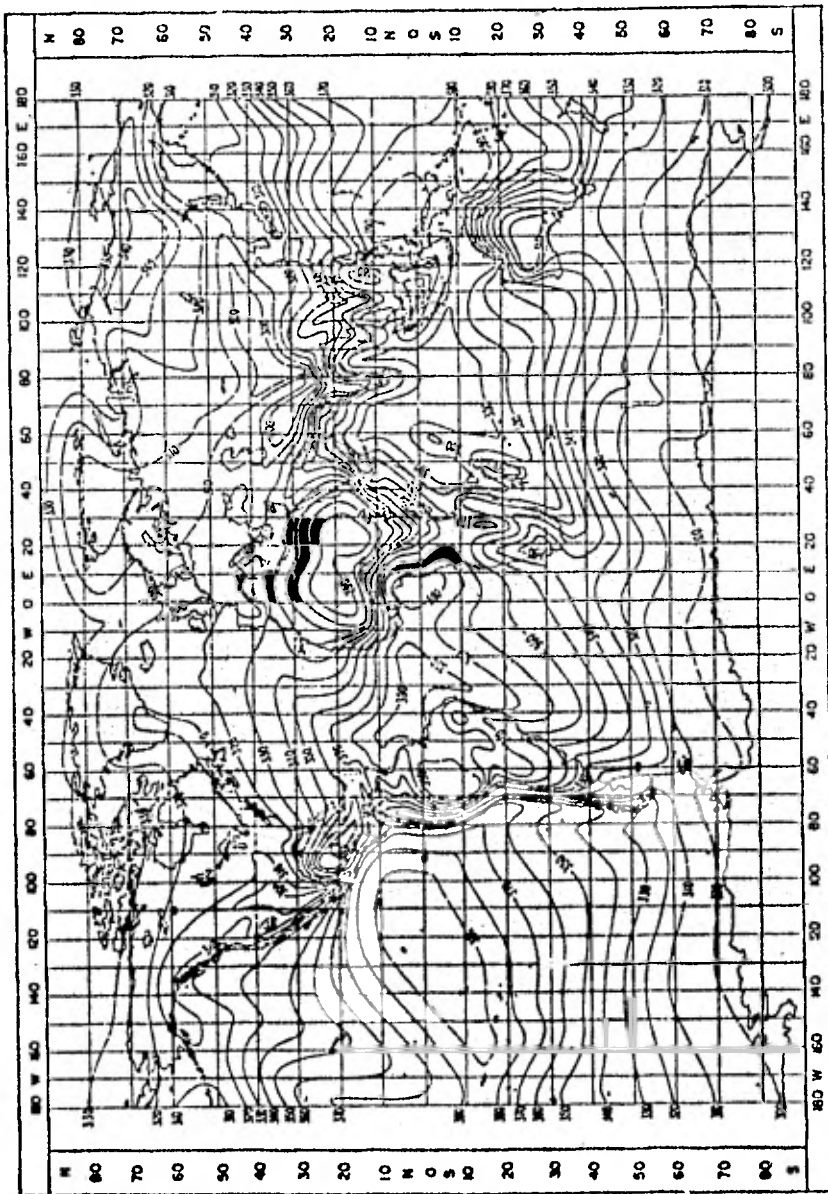


FIGURA 1  
Valor medio de No: febrero

L 234-1

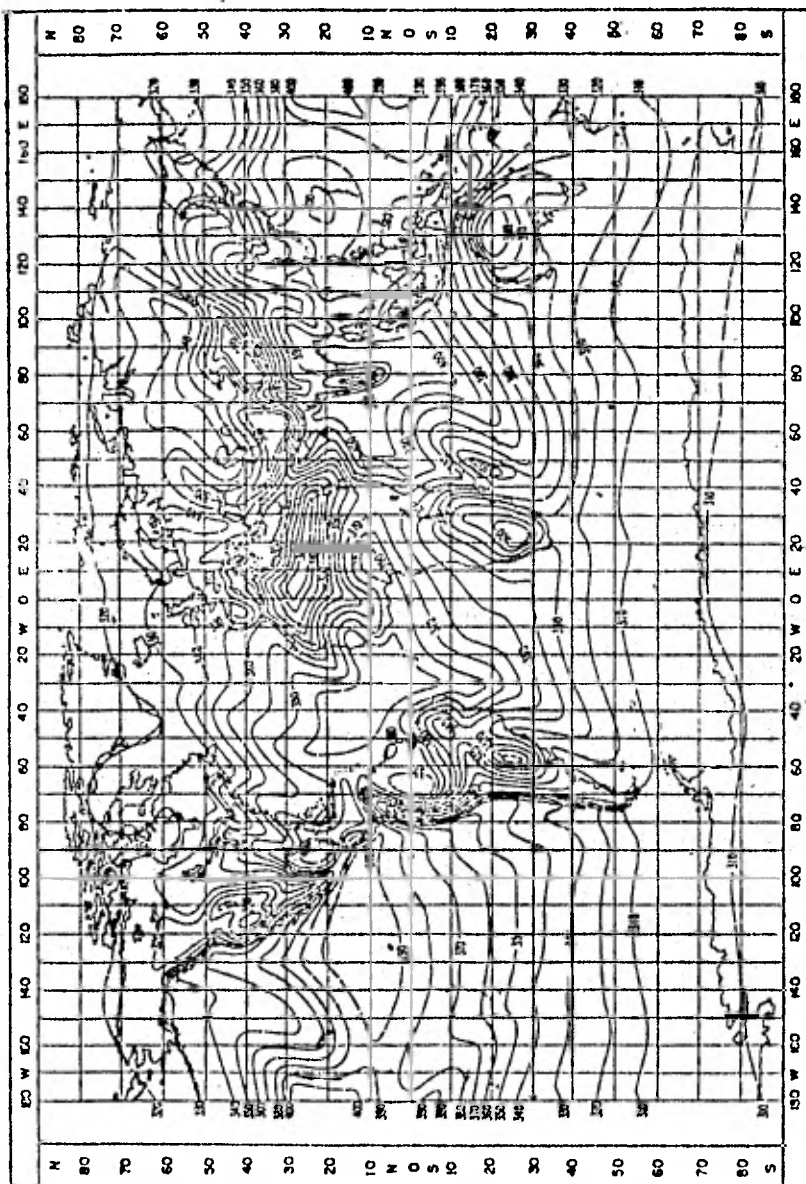


FIGURA 2



Valor medio de  $N_e$ : agosto



I. 233-1



FIGURA 3

-  Valor medio mensual de  $N_s > 350$  unidades  $N$  durante un mes por lo menos
-  Valor medio mensual de  $N_s > 350$  unidades  $N$  durante todos los meses

I. 233-1

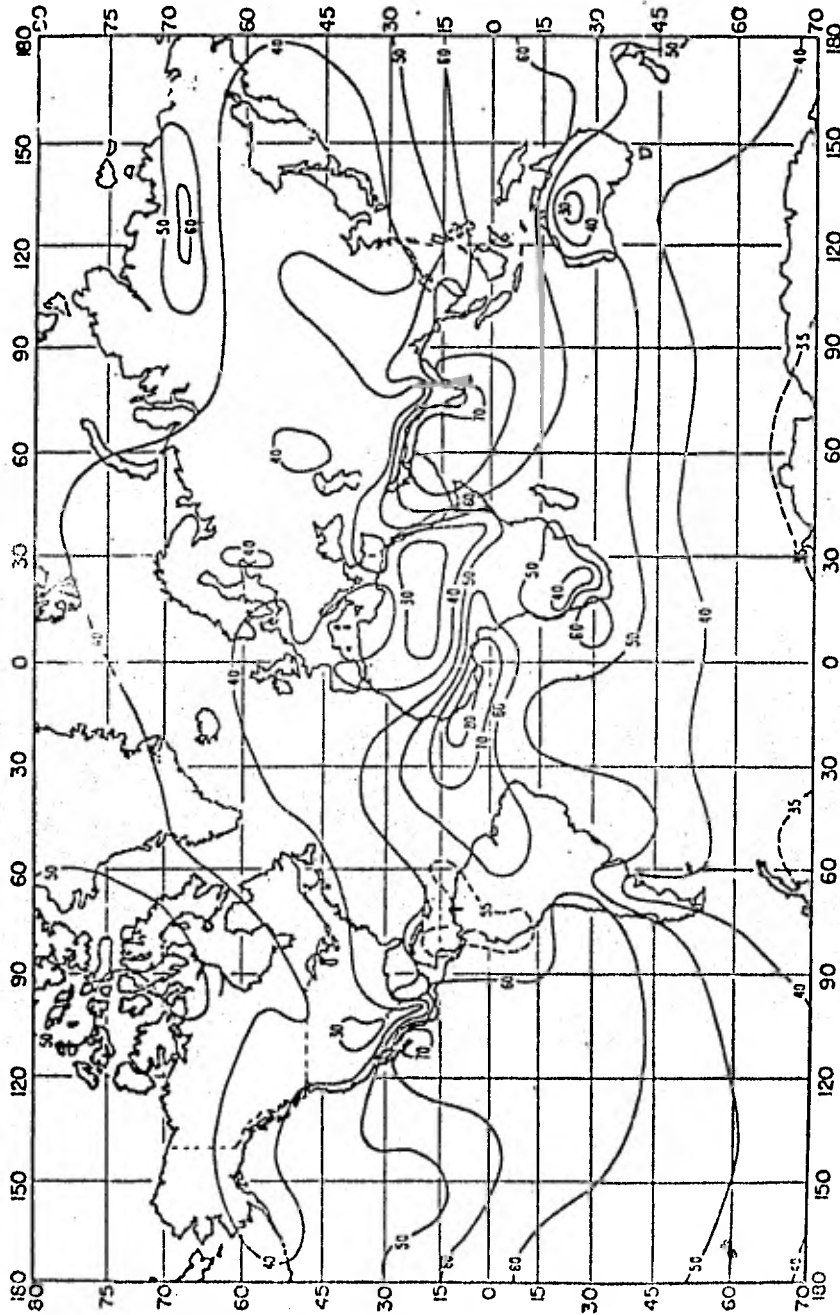


FIGURA 4

Valores medios mensuales de  $\Delta N$ : febrero

I. 233-1

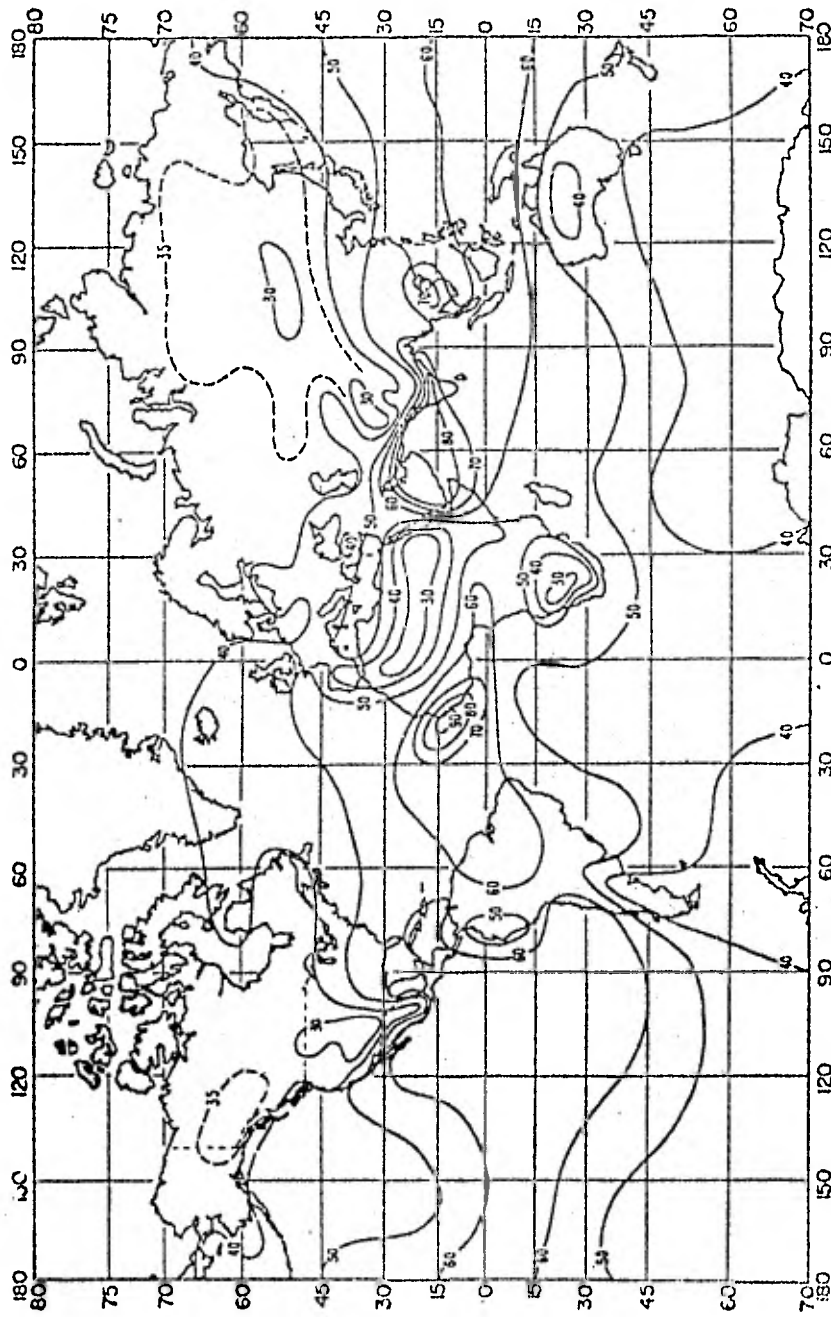


FIGURA 5  
Valores medios mensuales de  $\Delta N$ : mcy

L 233-1

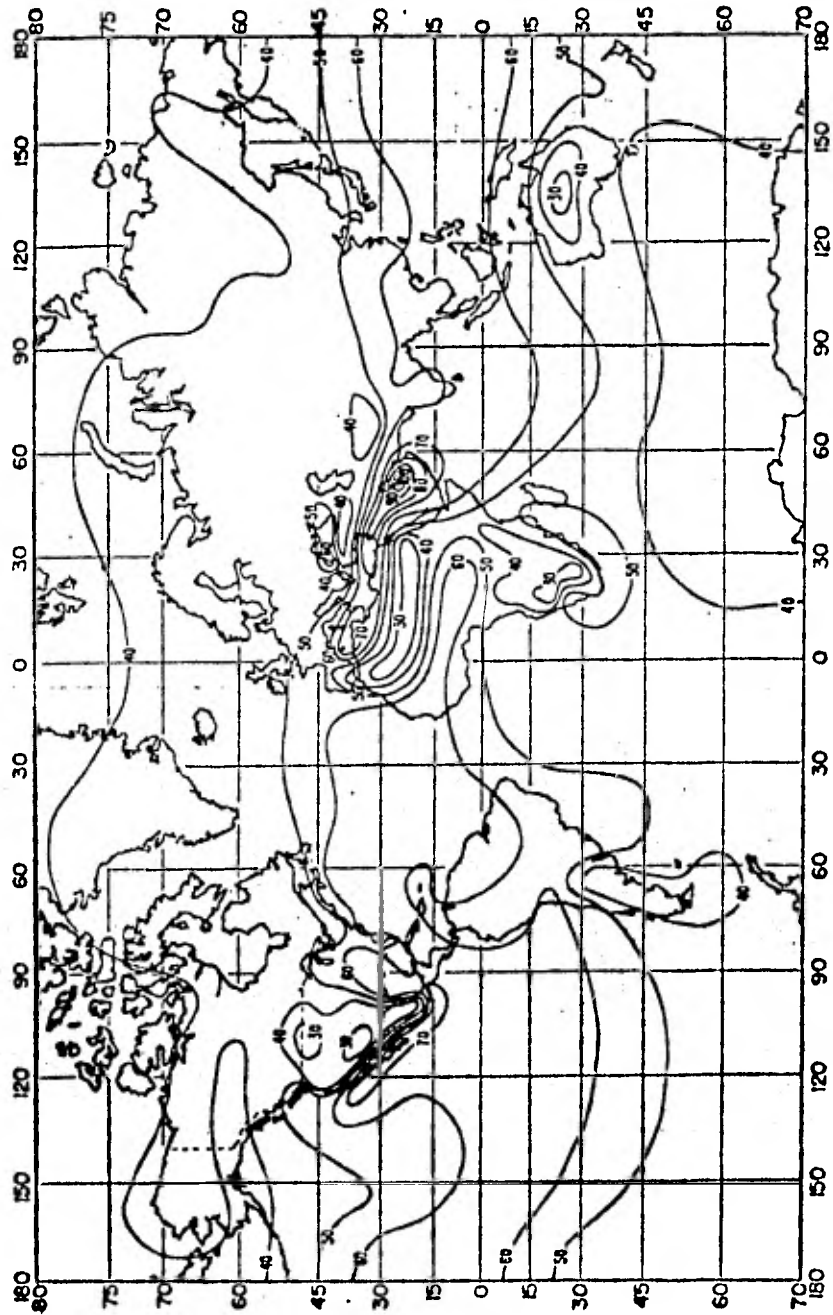


FIGURA 6

Valores medios mensuales de  $\Delta N$ : agosto

I. 233-1

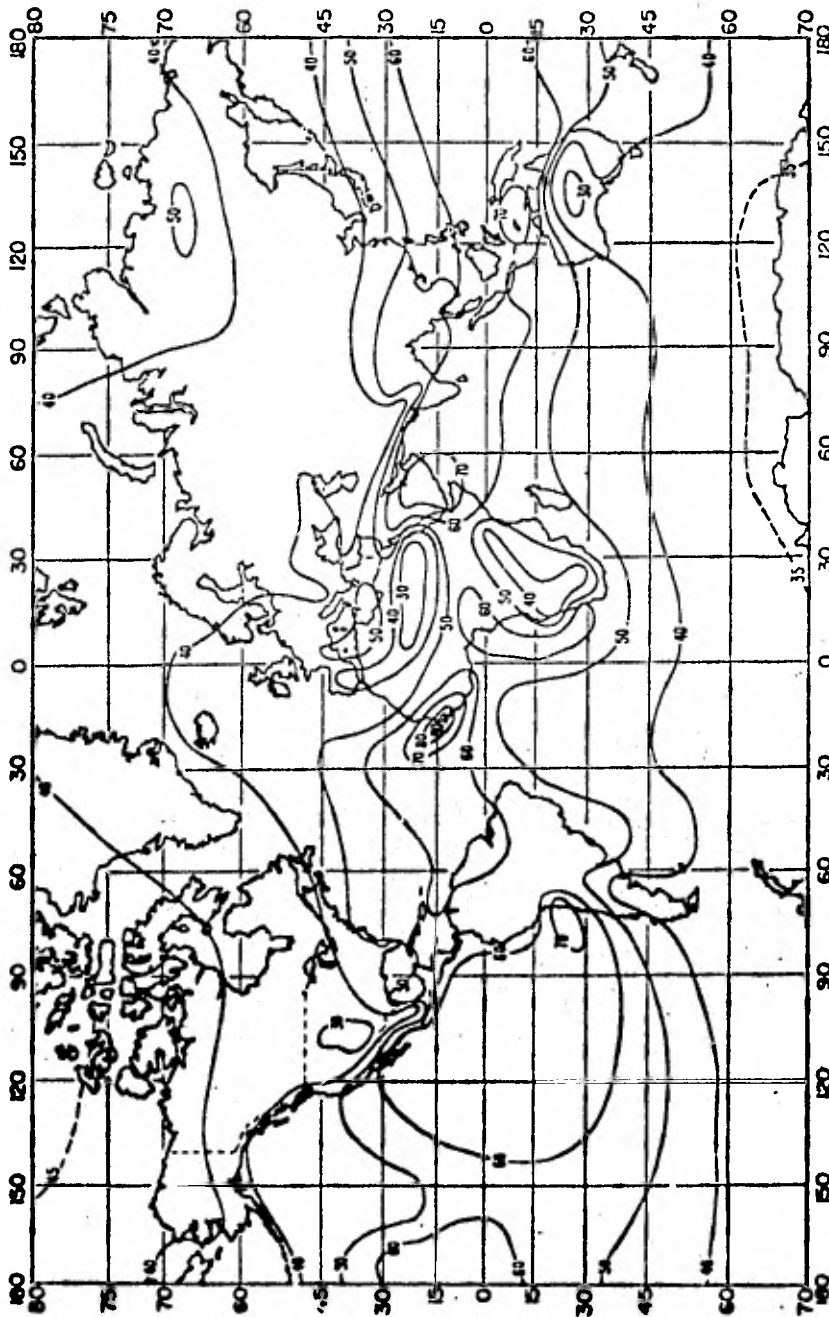


FIGURA 7

Valores medios mensuales de  $\Delta N$ : noviembre

L 233-1

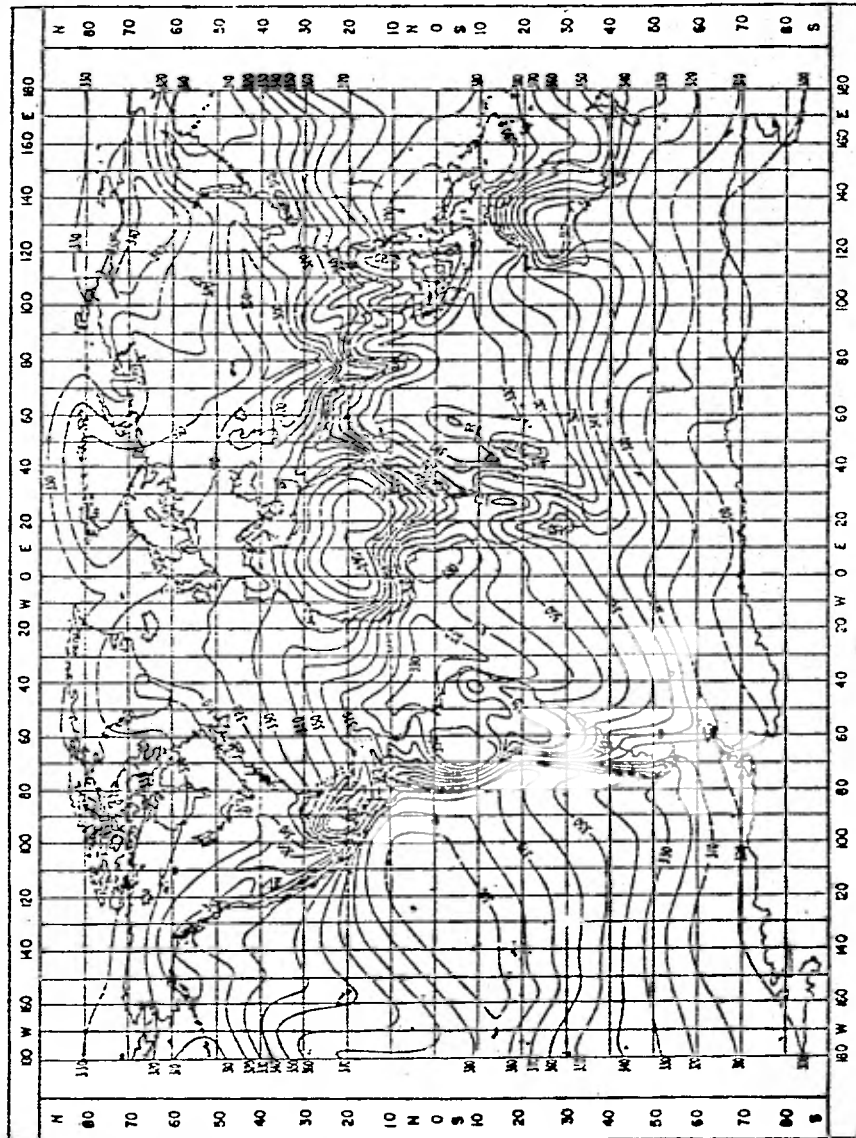


FIGURA 1  
Valor medio de No. febrero

L 224-1

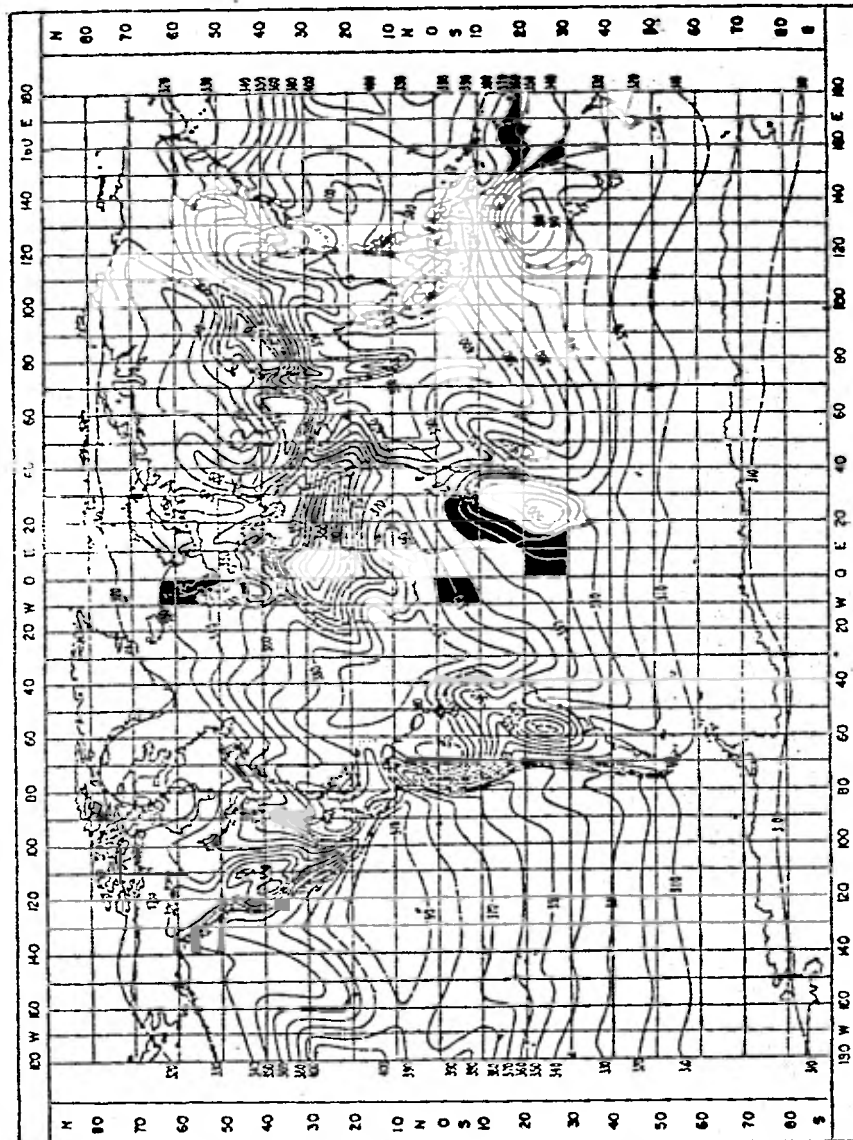


FIGURA 2  
Valor medio de N<sub>o</sub>: agosto



I. 233-1

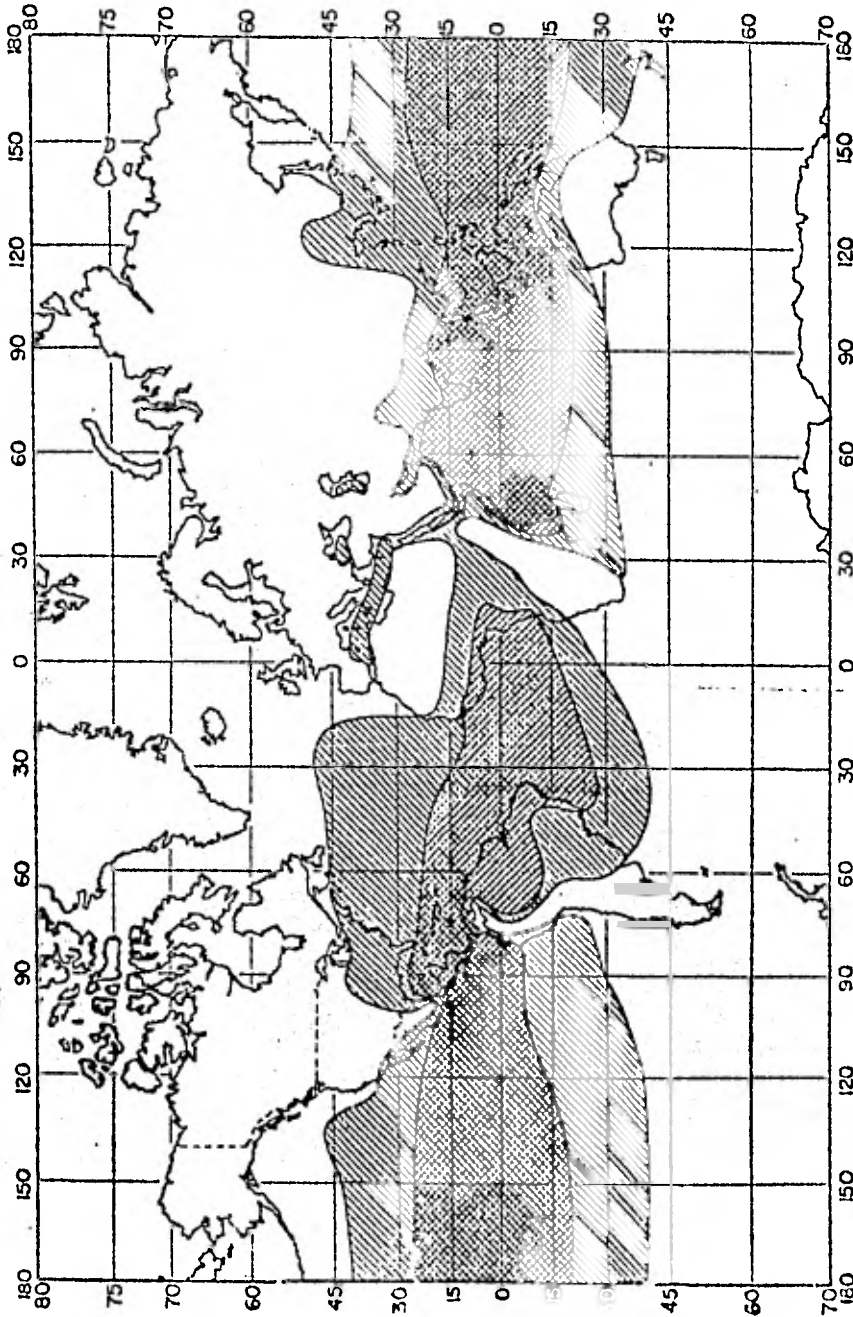




FIGURA 3

-  Valor medio mensual de  $N_t > 350$  unidades  $N$  durante un mes por lo menos
-  Valor medio mensual de  $N_t > 350$  unidades  $N$  durante todos los meses



I. 233-1

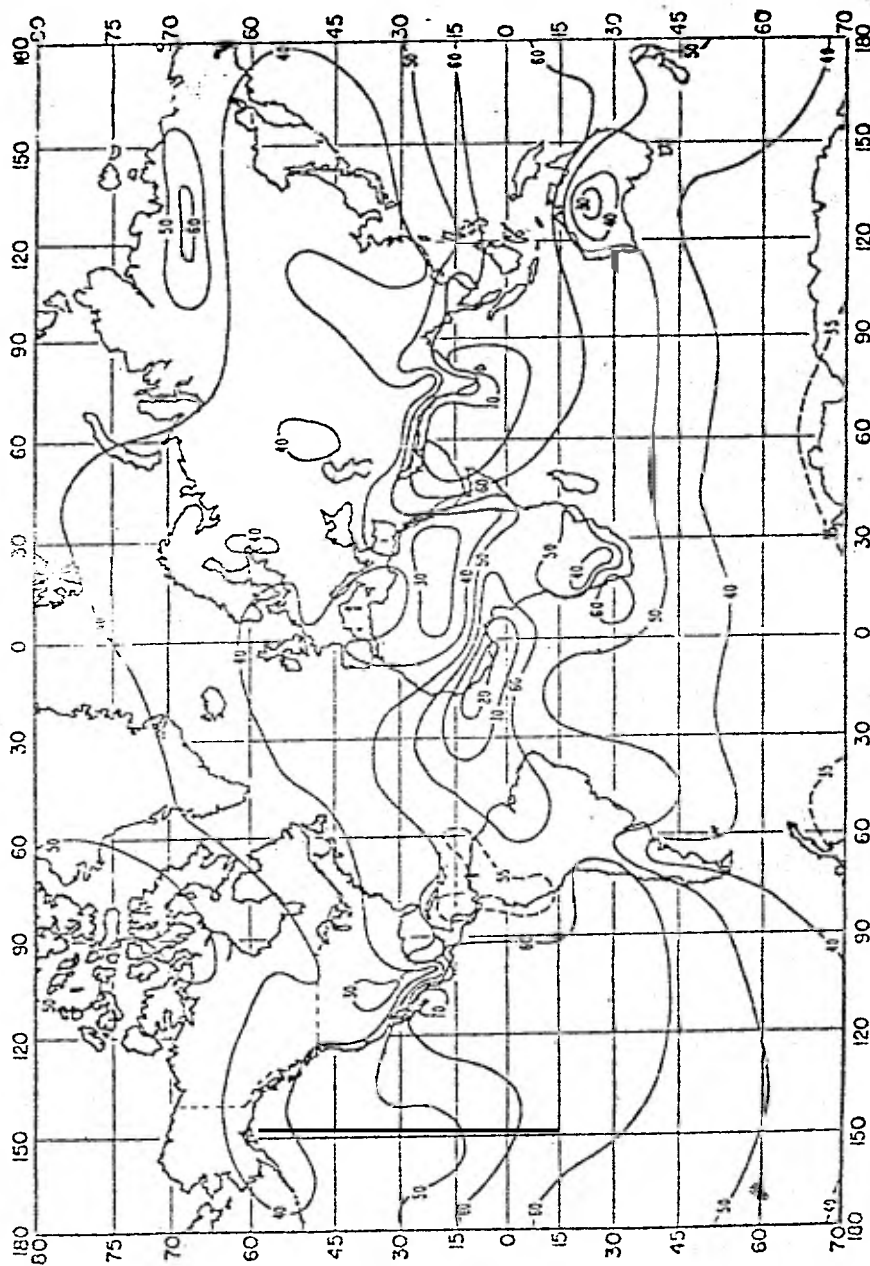


FIGURA 4  
Valores medios mensuales de  $\Delta N_1$ : febrero

I. 233-1

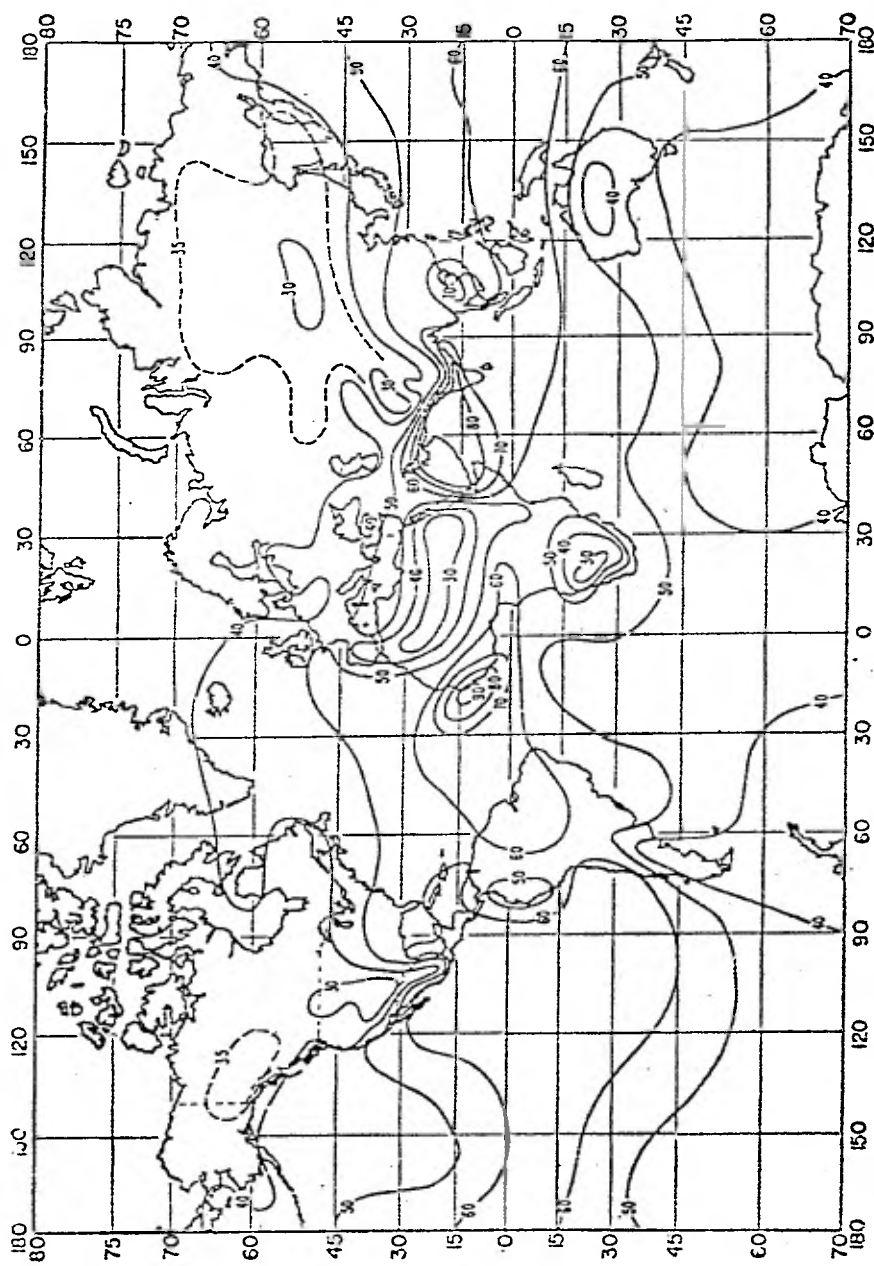


FIGURA 5

Valores medios mensuales de  $\Delta N$ ; mayo

L 233-1

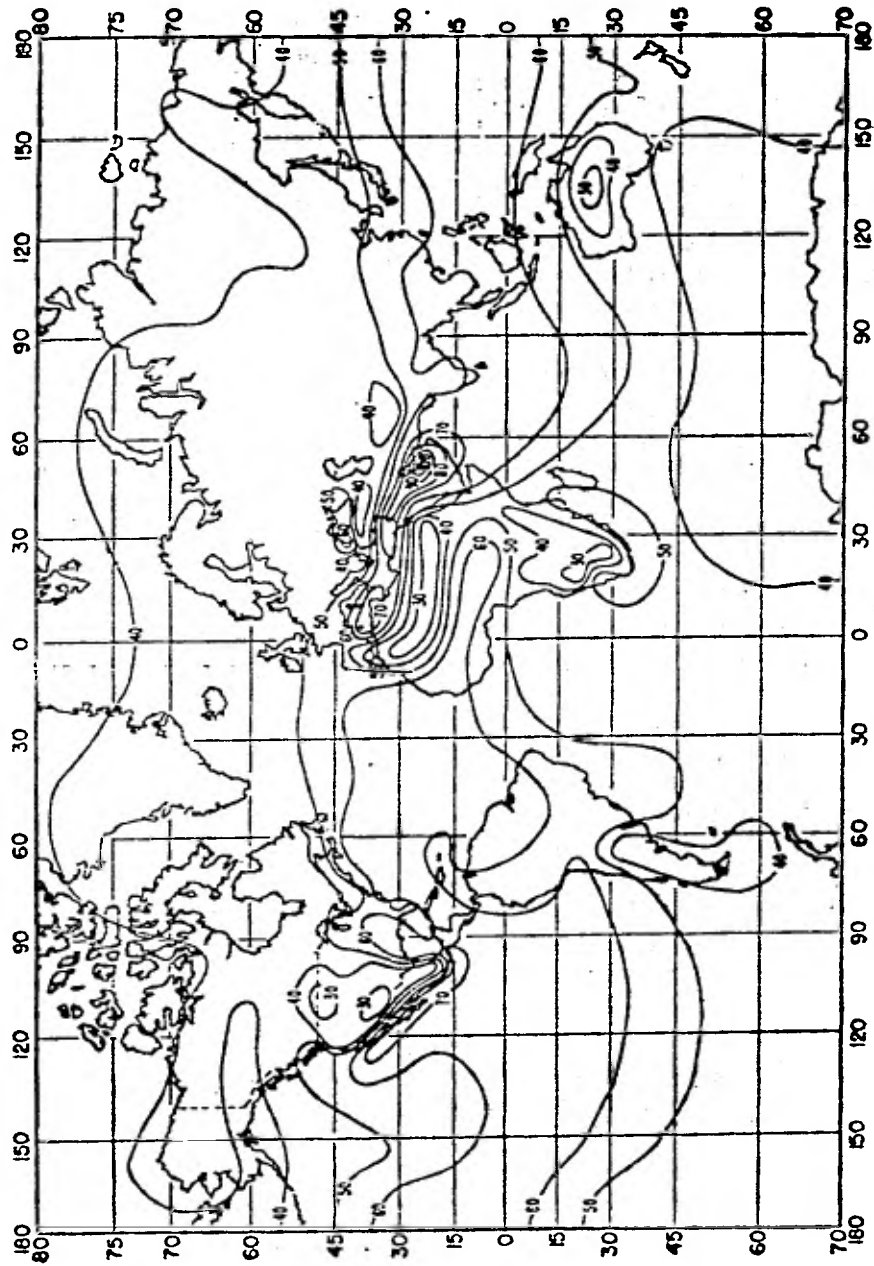


FIGURA 6

Valores medios mensuales de  $\Delta N$ : agosto

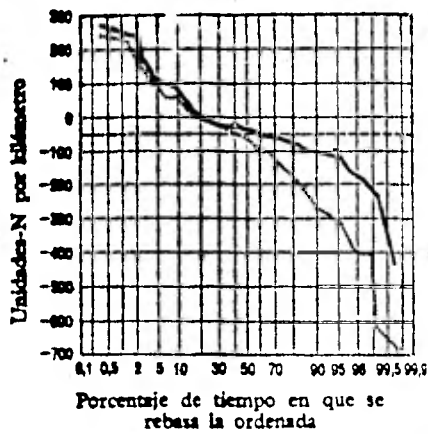
I. 233-1



FIGURA 7

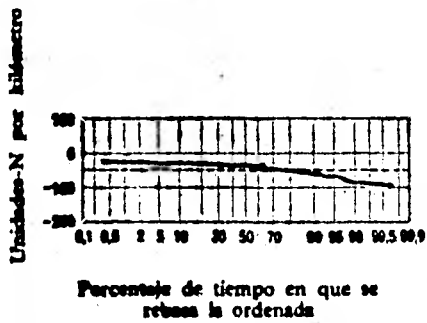
Valores medios mensuales de  $\Delta N$ : noviembre

L. 233-1

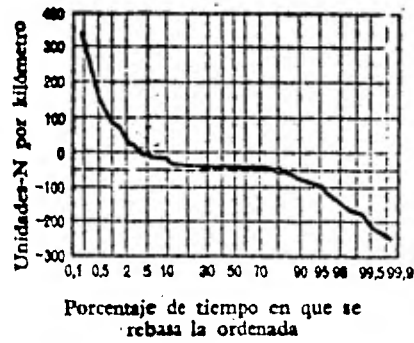


Nicosia, Chipre

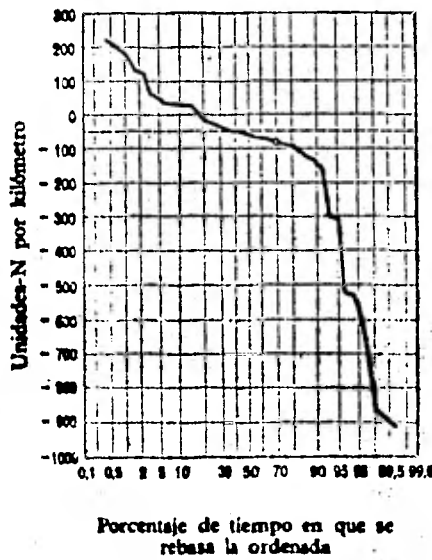
..... 0000 GMT  
 ————— 1200 GMT



Ostersund, Suecia



Nueva York



Bangui, República Centroafricana

FIGURA 8

Distribuciones cumulativas de probabilidades de  $dN/dh$  hasta 100 m. del suelo

RECOMENDACIÓN 302

LIMITACIÓN DE LAS INTERFERENCIAS CAUSADAS POR LOS SISTEMAS  
DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE

(Cuestión 196)

(1959)

El CCIR,

CONSIDERANDO

- a) que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte pueden provocar interferencias a largas distancias, interferencias que pueden extenderse más allá de las fronteras nacionales;
- b) que los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa están menos sujetos a provocar interferencias internacionales;
- c) que los sistemas transhorizonte tienen que emplear la diversidad, en una u otra forma, para protegerse contra los desvanecimientos;
- d) que puede aplicarse la diversidad múltiple sin necesidad de frecuencias suplementarias, utilizando, por ejemplo, antenas separadas con o sin polarización cruzada,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

En lo que se refiere al establecimiento de proyectos para los sistemas transhorizonte:

1. Que si se desea que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte ocupen las mismas bandas de frecuencias en países vecinos sin interferirse mutuamente, se tenga en cuenta el grado elevado necesario de coordinación y de planificación internacionales, sin olvidar que el problema sería mucho más complejo si tales sistemas tuviesen que ocupar, además, las mismas bandas de frecuencias que los sistemas clásicos con visibilidad directa o que otros servicios.
2. Que se procure realizar la máxima economía posible de frecuencias.
3. Que, en consecuencia, se evite en lo posible el empleo de la diversidad en frecuencia, sobre todo en las regiones del mundo en que el espectro de frecuencias esté sobrecargado.
4. Que se hagan todo género de esfuerzos para hacer funcionar estos sistemas con el mínimo nivel de potencia posible.
5. Que se trate en todo lo posible de reducir la emisión y la recepción en las direcciones no deseadas.
6. Que se haga cuanto sea posible por reducir las emisiones no esenciales al mínimo nivel prácticamente realizable.

^ título de información véanse los Informes 285-4 y 446-1 de la Sección 9C.

## RECOMENDACIÓN 396-1

**CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA PARA SISTEMAS DE RELEVADORES  
RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE DE TELEFONÍA CON MULTIPLAJE  
POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA**

(Cuestión 7-3/9)

(1963 - 1966)

El CCIR,

**CONSIDERANDO**

- a) que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte pueden formar parte de un circuito internacional;
- b) que los circuitos ficticios de referencia para sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa podrían no adaptarse a los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, debido a las diferencias de características de los dos tipos de sistemas;
- c) que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte se limitan, por regla general, a 120 canales telefónicos que no utilizan la conexión directa a nivel de grupos secundarios;
- d) que, en general, las características particulares de los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte se especifican individualmente para obtener valores óptimos,

**RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:**

1. Que el circuito ficticio de referencia para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte tenga una longitud de 2500 kilómetros.
2. Que no se debe subdividir en secciones homogéneas de longitud determinada el circuito ficticio de referencia para sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte porque éstos, a diferencia de los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa, suelen comprender largas secciones radioeléctricas cuya longitud depende de las condiciones locales y puede variar considerablemente (por ejemplo, entre 100 y 400 kilómetros).
3. Que, si  $L$  es la longitud en kilómetros de una sección radioeléctrica objeto de estudio, el circuito ficticio de referencia comprenda  $2500/L$  secciones de ese tipo en tándem, redondeado el cociente  $2500/L$  al número entero más próximo.
4. Que este circuito comprenda, para cada sentido de transmisión:
  - 3 pares de modulación de canal,
  - 6 pares de modulación de grupo primario,
  - 6 pares de modulación de grupo secundario,
 entendiéndose por «par de modulación» el conjunto de un modulador y de un demodulador.

RECOMENDACIÓN 388

DISPOSICIÓN DE LOS CANALES RADIOELÉCTRICOS PARA LOS SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE

(Cuestión 7-3/9)

(1959 - 1963)

El CCIR,

CONSIDERANDO

- a) que se hallan ya en servicio sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte y que en el futuro se utilizarán cada vez más sistemas de esta clase;
- b) que la gran potencia radiada por estos sistemas de relevadores radioeléctricos y el vasto alcance de la propagación troposférica pueden dar lugar a graves interferencias a distancias superiores a las de las fronteras, por ejemplo, a 1000 kilómetros;
- c) que las interferencias que se registran, lo mismo entre sistemas distintos que en un mismo sistema transhorizonte, podrían reducirse al mínimo mediante disposiciones adecuadas de los canales radioeléctricos en una vasta zona geográfica;
- d) que podrían reducirse al mínimo numerosas interferencias registradas entre los equipos de una misma estación, mediante una disposición de las frecuencias radioeléctricas cuidadosamente estudiada;
- e) que se dispone de algunos datos técnicos para el estudio de los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, pero que el diseño de éstos está sujeto a modificaciones;
- f) que actualmente se utilizan, o se han propuesto, diferentes métodos de modulación, entre los cuales figuran la modulación de frecuencia y la modulación de amplitud con banda lateral única;
- g) que, en la actualidad, la normalización de las disposiciones preferidas de los canales radioeléctricos sería, pues, limitar indebidamente el desarrollo futuro de los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte;
- h) que, sin embargo, conviene establecer una base común para la preparación de planes relativos a estos sistemas,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la disposición de los canales radioeléctricos para la interconexión internacional de los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, sea objeto de acuerdo entre las administraciones interesadas.
2. Que, si ha lugar, se utilicen como guía las bases de estudio de la disposición de canales radioeléctricos para los sistemas de relevadores radioeléctricos con modulación de frecuencia indicada en el Informe 286.



**RECOMENDACIÓN 283-3 \***

**DISPOSICIÓN DE CANALES RADIOELÉCTRICOS PARA SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS ANALÓGICOS CON CAPACIDAD DE 60, 120, 300 O HASTA 960 \*\* CANALES TELEFÓNICOS, O SISTEMAS DIGITALES DE BAJA Y MEDIA CAPACIDAD DE ANCHURA DE BANDA RF EQUIVALENTE, QUE FUNCIONAN EN LA BANDA DE 2 GHz**

(1959 - 1966 - 1970 - 1978)

El CCIR,

**CONSIDERANDO**

- a) que a veces es conveniente poder interconectar sistemas de relevadores radioeléctricos de 60, 120, 300 y hasta 960 \*\* canales telefónicos, o sistemas de relevadores radioeléctricos digitales de baja y media capacidad y de anchura de banda equivalente, en circuitos internacionales usando frecuencias radioeléctricas en la banda de 2 GHz;
- b) que en una banda de 200 MHz de anchura puede convenir interconectar hasta seis canales radioeléctricos de ida y seis de retorno;
- c) que se realizarían economías si pudieran interconectarse tres canales de ida y tres de retorno, por lo menos, en sistemas de relevadores radioeléctricos cada uno de los cuales utiliza antenas comunes transmisión-recepción;
- d) que en los sistemas de hasta 300 canales telefónicos pueden reducirse muchos de los efectos perturbadores, mediante una disposición juiciosa de las frecuencias radioeléctricas en los sistemas de relevadores radioeléctricos que comprenden varios canales radioeléctricos;
- e) que en los sistemas de hasta 300 canales telefónicos puede convenir en ciertos casos intercalar canales radioeléctricos suplementarios con los de la disposición principal;
- f) que los valores de las frecuencias centrales de los canales radioeléctricos debieran ser los mismos para los sistemas de relevadores radioeléctricos de 60, 120, 300 y hasta 960 canales telefónicos, así como para los sistemas digitales;
- g) que el intervalo entre las frecuencias radioeléctricas centrales debería ser tal que los sistemas de relevadores radioeléctricos de que se trata pudiesen funcionar con el valor máximo de excursión de frecuencia indicado en la Recomendación 404-2 para sistemas de hasta 600 canales telefónicos, mientras que para los de 960 canales telefónicos debiera utilizarse una excursión de frecuencia más reducida a fin de mejorar la utilización del espectro,

**RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:**

1. Que la disposición preferida de los canales radioeléctricos para seis canales de ida y seis de retorno, como máximo, cada uno de ellos formado por 60, 120, 300 o hasta 960 \*\* canales telefónicos o por sistemas digitales de anchura de banda RF equivalente y que funcionen en las bandas de frecuencias indicadas en el punto 6, sea la que se indica en la fig. 1 y se obtenga de la siguiente forma:

Sea  $f_0$ : la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada de 200 MHz (MHz);  
 $f_n$ : la frecuencia central de uno de los canales radioeléctricos en la mitad inferior de esta banda (MHz);  
 $f'_n$ : la frecuencia central de uno de los canales radioeléctricos en la mitad superior de esta banda (MHz);  
 las frecuencias de cada canal se expresan entonces en MHz, mediante las siguientes relaciones:

mitad inferior de la banda  $f_n = f_0 - 108,5 + 14 n$ ,

mitad superior de la banda  $f'_n = f_0 + 10,5 + 14 n$ ,

donde

$n = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ ó } 6$ .

\* Se aplica únicamente a los sistemas con visibilidad directa o casi directa.

\*\* La disposición de esta Recomendación para 960 canales se aplica sólo para la banda de 2500 a 2700 MHz.

2. Que en la sección donde se haga la interconexión internacional, ~~todos~~ los canales de ida estén situados en una mitad de la banda y todos los de retorno en la otra.
3. Que, para los canales radioeléctricos adyacentes en la misma mitad de la banda, convendría utilizar, con preferencia, polarizaciones diferentes de modo alternativo\*.
4. Que si se utilizan antenas comunes transmisión-recepción y se transmiten tres canales radioeléctricos por una sola antena, es preferible que las frecuencias de los canales se elijan utilizando la combinación  $n = 1, 3, 5$  en las dos mitades de la banda, o la combinación  $n = 2, 4, 6$  en las dos mitades de la banda.
5. Que, de ser necesario emplear canales radioeléctricos adicionales intercalados con los de la disposición principal, los valores de las frecuencias centrales de estos canales radioeléctricos sean 7 MHz superiores a los de las frecuencias correspondientes de los canales principales\*\*.
6. Que las frecuencias centrales sean, de preferencia, las indicadas seguidamente:
  - $f_0 = 1808$  MHz para la banda 1700 a 1900 MHz,
  - $f_0 = 2000$  MHz para la banda 1900 a 2100 MHz,
  - $f_0 = 2203$  MHz para la banda 2100 a 2300 MHz (véase la nota 3),
  - $f_0 = 2586$  MHz para la banda 2500 a 2700 MHz\*\*\*.

Previo acuerdo entre las administraciones interesadas, podrán utilizarse otras frecuencias centrales.

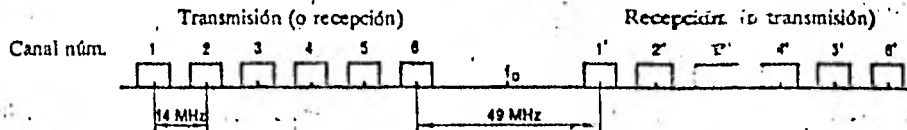


FIGURA 1 - Disposición de los canales radioeléctricos para sistemas de relevadores radioeléctricos que trabajan en la banda de 2 GHz, en el caso de interconexiones internacionales

**Nota 1.** - Si se utilizan las bandas 1900 a 2300 MHz o 1700 a 2100 MHz para sistemas de relevadores radioeléctricos de gran capacidad y, en el mismo trayecto, para sistemas de relevadores radioeléctricos de 60, 120 ó 300 canales que empleen la disposición de canales radioeléctricos anteriormente indicada, se reducirán considerablemente las posibilidades de interferencia mutua siempre que se utilicen antenas distintas para los dos sistemas.

**Nota 2.** - En los sistemas de hasta 300 canales telefónicos, podrán plantearse dificultades de explotación en un trayecto determinado, debido a la perturbación introducida por las señales de otras estaciones del sistema (sobrealcance), o por fenómenos similares. En tales casos podrán utilizarse frecuencias suplementarias situadas a 3,5 MHz de los valores anteriormente indicados, como frecuencias desplazadas.

**Nota 3.** - En ciertos países, particularmente en la Región 2, puede ser preferible expresar las frecuencias de los canales en MHz, mediante las siguientes relaciones:

$$\text{mitad inferior de la banda: } f_n = f_0 - 94,5 + 14n,$$

$$\text{mitad superior de la banda: } f'_n = f_0 - 3,5 + 14n,$$

donde

$$n = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ ó } 6.$$

Los canales intercalados deben hallarse 7 MHz por debajo de los canales principales correspondientes.

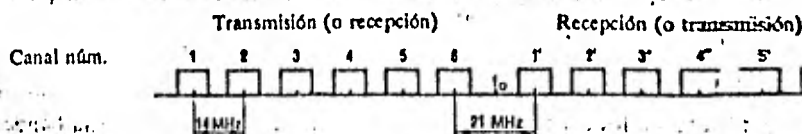


FIGURA 2 - Disposiciones de los canales radioeléctricos a que se refiere la nota 3

- \* Para los sistemas digitales de baja capacidad puede utilizarse también la misma polarización de canales adyacentes.
- \*\* En sistemas para 960 canales telefónicos en la banda 2500 a 2700 MHz, o en sistemas digitales de anchura de banda RF equivalente, es posible que no sea práctico utilizar frecuencias intercaladas debido a la anchura de banda ocupada por la portadora modulada.
- \*\*\* Se señala que la banda de 2690 a 2700 MHz está atribuida exclusivamente a la radioastronomía, y que la frecuencia del canal principal inferior se sitúa por debajo de 2500 MHz.

**Nota 4.** - Si se utiliza un sistema de 960 \* canales telefónicos, de conformidad con esta Recomendación, se utilizarán de preferencia los siguientes valores:

- valor eficaz de la excursión por canal: 140 kHz,
- frecuencia de la señal piloto de continuidad: 4715 kHz,
- valor eficaz de la excursión para la señal piloto de continuidad: 100 kHz.

## RECOMENDACIÓN 397-3

POTENCIA DE RUIDO ADMISIBLE EN EL CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA DE SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE PARA TRANSMISIÓN DE TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA

(Cuestión 7-3/9)

(1963 - 1966 - 1970 - 1978)

El CCIR,

## CONSIDERANDO

- a) que el circuito ficticio de referencia definido en la Recomendación 396-1 está destinado a servir de guía a cuantos proyectan los sistemas de relevadores radioeléctricos utilizados en las redes internacionales;
- b) que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte han de satisfacer, siempre que sea posible, los requisitos de ruido fijados en la Recomendación 393-3 para los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa;
- c) que, a pesar del interés que entraña el logro de este objetivo, podría originar en ciertos casos gastos muy elevados, cuando no prohibitivos, o dar lugar a una potencia exagerada o que pudiera producir interferencias perjudiciales;
- d) que ello podría dificultar ciertas extensiones de la red telefónica,

## RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que, desde el punto de vista de la calidad de funcionamiento, los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte se dividan en dos clases.
2. Que, cuando un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte se destine a ser utilizado entre puntos en los que puedan emplearse sin grandes dificultades otros sistemas de transmisión, tales como relevadores radioeléctricos con visibilidad directa, cables enterrados, etc., se determine el circuito ficticio de referencia de conformidad con la Recomendación 396-1 y se calcule la potencia de ruido en el extremo de ese circuito de referencia por combinación estadística de la potencia de ruido de cada una de sus secciones radioeléctricas, en cuyo caso, la curva de distribución estadística de la potencia sofométrica media durante un minuto, en el curso de cualquier mes, pasará por debajo de los puntos definidos en los puntos 1.1 y 1.2 de la Recomendación 393-3.
3. Que, para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte destinados a su utilización entre puntos a los que no puedan dar servicio sin dificultades excesivas otros sistemas de transmisión, y cuando tampoco puedan cumplirse sin excesivas dificultades los requisitos fijados en la Recomendación 393-3, se apliquen, una vez calculada la distribución estadística de la potencia de ruido en el extremo del circuito ficticio de referencia, según el método indicado en el anterior punto 2, las condiciones siguientes:
  - 3.1 La potencia sofométrica media durante un minuto no excederá de 25 000 pW0p durante más del 20% de un mes cualquiera.
  - 3.2 La potencia sofométrica media durante un minuto no excederá de 63 000 pW0p durante más del 0,5% de un mes cualquiera.
4. Que, para las dos clases de sistemas de relevadores definidas, la potencia de ruido no ponderada (con un tiempo de integración de 5 ms) se ajuste a las condiciones estipuladas en el punto 1.3 de la Recomendación 393-3, sustituyendo, sin embargo, el porcentaje de un mes cualquiera por 0,05% en los sistemas aludidos en el punto 3 de la presente Recomendación.

*Nota 1.* — Todos los valores citados en la presente Recomendación tienen en cuenta el ruido de intermodulación en la parte radioeléctrica del sistema, pero no el ruido en el equipo múltiple con distribución de frecuencia. Para este último ruido, el CCITT autoriza un valor medio de 2500 pW0p, en un circuito ficticio de referencia de 2500 km.

*Nota 2.* — El método de combinación estadística de que se trata en el punto 2 de la presente Recomendación se describe con detalle en «Thermal noise in multi-section radio links», de B. B. Jacobsen, Monografía N.º 262 R, del IEE (1957).

*Nota 3.* — El cálculo de la potencia media de ruido en un canal telefónico, a partir de la distribución de la amplitud de la señal recibida en cada receptor, se trata en «Puissance moyenne de bruit dans les faisceaux hertziens transhorizon à modulation de fréquence», de L. Boithias y J. Battesti, *Annales des télécommunications* (mayo-junio de 1963).

*Nota 4.* — Los sistemas que sólo se ajusten a las condiciones especificadas en los puntos 3 y 4 se excluirán de los principales enlaces internacionales o intercontinentales; por consiguiente, en una interconexión a escala mundial no habrá, como máximo, más que uno o dos circuitos de longitud media que sólo se ajusten a las condiciones del punto 4 con un porcentaje de 0,05%; ello es aceptable en lo que concierne a la señalización telefónica. En estas condiciones, la transmisión de telegrafía armónica es también satisfactoria (véase la respuesta de la Comisión Mixta (CCITT/CCIR) CMBD a la Cuestión 1/C anexa a los Documentos IX/240 y IX/164 (1963-1966)).

## RECOMENDACIÓN 310-1 \*

DEFINICIÓN DE TERMINOS RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN  
TROPOSFÉRICA

El C. C. I. R.,

(1951 — 1959 — 1966)

## CONSIDERANDO:

Que es notorio que las condiciones meteorológicas en la troposfera influyen considerablemente en la propagación de las ondas de frecuencias superiores a 30 MHz,

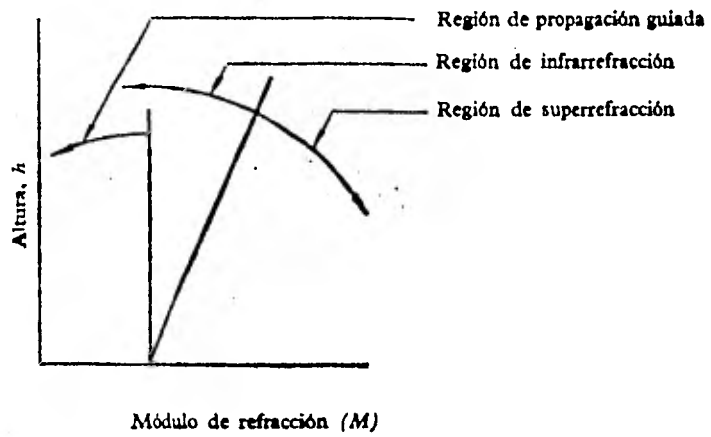
## RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

Que se adopte la siguiente lista de definiciones para su inclusión en el Vocabulario.

## VOCABULARIO DE LOS TÉRMINOS RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

Término	Definición
1. <i>Troposfera:</i>	Región inferior de la atmósfera terrestre, situada inmediatamente por encima de la superficie de la Tierra y en la que la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud, salvo en determinadas capas locales de inversión de temperatura.
2. <i>Tropopausa:</i>	Límite superior de la troposfera, por encima del cual la temperatura aumenta ligeramente con la altitud o permanece constante.
3. <i>Inversión de temperatura:</i>	En la troposfera, aumento de la temperatura con la altura.
4. <i>Relación de mezcla:</i>	Relación entre la masa (en gramos) del vapor de agua contenido en un volumen dado de la atmósfera y la masa (en kilogramos) del aire seco contenido en este volumen.
5. <i>Humedad relativa:</i>	Relación entre la presión de vapor de agua existente y la presión de vapor de agua saturante a la misma temperatura. Esta relación se expresa en general en porcentaje.
6. <i>Índice de refracción (n):</i>	Relación entre las velocidades de las ondas en el vacío y en el medio considerado.
7. <i>Coíndice (N):</i>	El exceso de n con relación a la unidad, expresado en millonésimas.
8. <i>Unidad N:</i>	Unidad en la que se expresa el coíndice.
9. <i>Índice de refracción modificado:</i>	A cierta altura sobre el nivel del mar, la suma del índice de refracción del aire a la altura considerada, y de la relación entre esta altura y el radio de la tierra.
10. <i>Módulo de refracción:</i>	Exceso de índice de refracción modificado con relación a la unidad, expresado en millonésimas.
11. <i>Unidad M:</i>	La unidad en que se expresa el módulo de refracción.
12. <i>Gradiente normal del módulo de refracción:</i>	La variación uniforme del módulo de refracción en relación con la altura sobre el suelo que se considera como base normal de comparación. El gradiente que se considera normal tiene un valor de 0,12 uno de M por metro (3,6 unidades M por cien pies).
13. <i>Atmósfera radioeléctrica normal:</i>	Para la propagación troposférica, una atmósfera con un gradiente normal del módulo de refracción.

Término	Definición
14. <i>Atmósfera fundamental de referencia:</i>	Atmósfera cuyo coeficiente ( $N$ ) disminuye exponencialmente con la altura. (Véase la Recomendación 369-1.)
15. <i>Refracción normal:</i>	La refracción que se produciría en la atmósfera radioeléctrica normal. (Véase la fig. 1.)
16. <i>Infrarefracción:</i>	Toda refracción cuyo módulo de refracción tiene un gradiente positivo y mayor que el normal. (Véase la fig. 1.)
17. <i>Superrefracción:</i>	Toda refracción cuyo módulo de refracción tiene un gradiente menor que el normal y puede hacerse cero y aumentar negativamente. (Véase la fig. 1.)
18. <i>Propagación troposférica:</i>	Uno cualquiera de los diversos mecanismos posibles de propagación en la troposfera. A continuación se definen algunos de estos mecanismos.
19. <i>Propagación normal:</i>	La propagación de las ondas radioeléctricas sobre una tierra esférica regular, de características eléctricas uniformes, en condiciones de refracción atmosférica normal.
20. <i>Horizonte radioeléctrico:</i>	El lugar geométrico de los puntos en que los rayos directos procedentes de la antena son tangentes a la superficie de la Tierra, habida cuenta de la curvatura debida a la refracción.
21. <i>Radio ficticio de la Tierra:</i>	El radio de una Tierra hipotéticamente esférica en la que la distancia hasta el horizonte radioeléctrico, en el supuesto de que la propagación se haga en línea recta, es la misma que en la tierra real rodeada de una atmósfera con un gradiente vertical constante del índice de refracción (para la atmósfera normal, el radio ficticio de la Tierra es igual a $4/3$ del radio real).
22. <i>Conducto troposférico radioeléctrico:</i>	Capa cuasi horizontal de la troposfera entre cuyos límites la energía de una frecuencia dada suficientemente alta se halla prácticamente confinada y se propaga con una atenuación anormalmente baja.
23. <i>Conducto sobre el suelo (conducto de superficie):</i>	Conducto troposférico cuyo límite inferior es la superficie de la Tierra.
24. <i>Conducto elevado:</i>	Conducto troposférico cuyo límite inferior está por encima de la superficie de la Tierra.
25. <i>Espesor del conducto:</i>	La diferencia de altura entre los límites superior e inferior de un conducto troposférico.
26. <i>Altura del conducto:</i>	La altura sobre el suelo del límite inferior de un conducto elevado.
27. <i>Propagación guiada:</i>	Tipo de propagación en el interior de un conducto troposférico. Pueden existir varios modos de propagación (en el sentido de la teoría de las guíasondas).
28. <i>Propagación transhorizonte:</i>	Término general de la propagación por trayectos que van más allá del horizonte radioeléctrico normal. Puede referirse a distintos fenómenos tales como la dispersión no directiva y la reflexión especular hacia el receptor.
29. <i>Propagación por dispersión troposférica:</i>	Propagación en que interviene la dispersión por numerosas heterogeneidades o discontinuidades del índice de refracción de la atmósfera, caracterizado generalmente por una atenuación que aumenta rápidamente cuando la dirección se aparta de la dirección incidente.
30. <i>Propagación por dispersión debido a las precipitaciones:</i>	Propagación debida a la dispersión producida por las partículas de las precipitaciones.
31. <i>Propagación por trayectos múltiples:</i>	Propagación por varios trayectos de transmisión.



Módulo de refracción ( $M$ )

FIGURA 1

Curvas  $M$

APENDICE 3.



## A P E N D I C E 3 .

### CARACTERISTICAS DE LAS REGIONES CLIMATICAS.

Las regiones climáticas pueden ser definidas en diferentes maneras:

- 1) Por áreas geográficas en un mapa
- 2) Por condiciones meteorológicas promedio
- 3) Por el predominio de diversos mecanismos de propagación.
- 4) Por el promedio de los datos disponibles.

Basados en el conocimiento que se tiene de las condiciones meteorológicas y de sus efectos en la propagación de las ondas de radio, el C.C.I.R. ha definido diferentes tipos de climas.

Algunas de las características mas importantes de las regiones climáticas, se indican a continuación:

#### 1.- CLIMA TEMPLADO CONTINENTAL:

Se caracteriza por un promedio de  $N_s = 320$  con una variación de 20 a 40 unidades. Se encuentra localizado en zonas de unos  $30^\circ$  a  $60^\circ$  de Latitud Norte o Sur.

#### 2.- CLIMA TEMPLADO MARITIMO (SOBRE TIERRA):

Caracterizado por un promedio de  $N_s = 320$  con un rango de variación de 20 a 30 unidades. Tales regiones se encuentran entre los  $20^\circ$  a  $50^\circ$  de Latitud Norte o Sur, cercanas al mar.

#### 3.- CLIMA TEMPLADO MARITIMO (SOBRE MAR):

Posee las mismas características del anterior pero el ra-

dioenlace, a diferencia del anterior, es sobre el mar.

#### 4.- CLIMA SUBTROPICAL MARITIMO (SOBRE TIERRA):

Se caracteriza por un promedio de  $N_s = 370$  con un rango de variación de 30 a 60 unidades. Tales climas se localizan entre los  $10^\circ$  y  $30^\circ$  de Latitud Norte o Sur, en zonas cercanas al mar.

#### 5.- CLIMA DESERTICO:

Tiene un promedio aproximado de  $N_s = 280$ , con un rango de variación de unas 20 a 80 unidades. Se encuentra localizado en regiones semiáridas.

#### 6.- CLIMA ECUATORIAL:

Tiene un promedio de  $N_s = 360$ , con un rango de variación de 0 a 30 unidades. Se observa en regiones situadas entre los  $20^\circ$  de Latitud Norte y los  $20^\circ$  de Latitud Sur; se caracteriza además, por tener períodos de fuertes lluvias y promedios elevados de temperatura en la época de sequía.

#### 7.- CLIMA SUBTROPICAL CONTINENTAL:

Posee un promedio de  $N_s = 320$  con un rango de variación de 60 a 100 unidades. Se localizan entre los  $20^\circ$  y  $40^\circ$  de Latitud y se caracteriza por ser clima caliente y extremo, con sequía en el invierno y ser lluvioso durante el verano.

Para climas POLARES CONTINENTALES podemos usar los parámetros del clima Continental Templado, ya que el promedio es  $N_s = 310$  y su rango de variación es también aproximadamente igual, puesto que es de 10 a 40 unidades.

El clima SUBTROPICAL MARITIMO (SOBRE MAR) se encuentra entre los mismos límites de latitud del subtropical marítimo sobre tierra y se pueden seleccionar los parámetros de éste o los del templado - marítimo sobre mar, según las condiciones.

Cuando una región climática no se ajusta exactamente a una de las indicadas, se pueden usar como parámetros el promedio de los parámetros de las regiones más semejantes.

APENDICE 4.

## A P E N D I C E 4 .

### UNIDADES LOGARITMICAS ,

DB.- El decibel es la unidad más comunmente usada en la industria de las comunicaciones para expresar una relación entre dos cantidades de potencia

$$dB = 10 \text{ Log}_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

DBM.- La referencia de potencia más común que se emplea en la industria telefónica es 1 miliwatt. Debido a que la señal de potencia está casi siempre sujeta a atenuación (un proceso divisorio) o amplificación (un proceso multiplicativo), la potencia dada directamente en watts o miliwatts requeriría la mayoría de las veces de cálculos largos y complicados. Una forma más sencilla y conveniente de indicar una potencia es expresarla tantos dB arriba o abajo de una potencia de referencia de un miliwatt, ya que el sumar o restar decibeles dá el mismo resultado que multiplicar o dividir unidades de potencia. Debido al gran uso de los decibeles sobre o debajo de un miliwatt, usualmente se abrevia † dBm.

$$dBm = 10 \text{ Log}_{10} \frac{P(W)}{1mW}$$

DBW.- En este caso la referencia de potencia es 1 Watt, a diferencia de la anterior.

DBA Y DBRN.- El dba y el dbrn (formalmente escrito dbRN) se usan para indicar el efecto de interferencia causado por el ruido a un canal de comunicaciones, relacionándolo al efecto de interferencia de una cantidad fija de potencia de ruido o ruido de referencia. Dichas unidades están relacionadas entre ellas, de hecho, el dba significa dbrn ajustado. Dbrn es la abreviatura de db sobre un ruido de referencia de -90 dbm a 1000 ciclos.

DBA0.- El término dba0 es una medida de la potencia de ruido con referencia a cero dbm en el punto de referencia del nivel de transmisión. Las potencias de ruido medidas en cualquier punto del nivel de transmisión pueden expresarse en dba0 corrigiendo la potencia de ruido medida por la diferencia de nivel entre el punto medido y el punto de referencia del nivel de transmisión. La potencia de ruido relativa en dba se obtiene de una medición de potencia de ruido usando un ponderador F1A.

DBM0.- El término dbm0 es una medida de potencia con referencia a cero dbm en el punto de referencia del nivel de transmisión. Las potencias medidas en cualquier punto del nivel de transmisión pueden expresarse en dbm0 corrigiendo la potencia medida por la diferencia en nivel entre el punto de medición y el punto de referencia del nivel de transmisión.

DBK.- El término dbk significa decibeles referidos a un kilowatt, y a menudo es usado para indicar, al igual que el

dbw, la potencia radiada por los radio transmisores.

DBV.- El término dbv significa decibeles referidos a 1 volt.

DBX.- El término dbx se usa para indicar la diafonía en los -- circuitos telefónicos. Al igual que el dba y el dbrn, - el dbx debe ser medido con instrumentos para medir ruido. El dbx significa decibeles sobre un acoplamiento de referencia. El acoplamiento de referencia se define como el acoplamiento necesario para causar una lectura de 0 dba en el circuito bajo prueba, cuando un tono de prueba de 90 dba aplicado en el circuito bajo prueba. Ambos valores de dba tienen la misma ponderación.

VU.- El término vu es una unidad usada para designar la relación entre el "volumen" de la voz o sonidos musicales y un volumen de referencia. Un indicador de volumen estandar (medidor y atenuador asociado) está calibrado para una lectura de 0 vu cuando se conecta através de un circuito de 600 ohms que tiene una señal senoidal de un miliwatt y una frecuencia entre los 35 y 10,000 ciclos - por segundo.

DBRAP.- El término dBRAP significa decibeles sobre un nivel de - referencia de potencia acústica.

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



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

### COMMUNICATION SYSTEMS DESIGN.

Line-of-sight and Tropo-Scatter Systems

Panter, Philip F.

Mc. Graw-Hill Book Company.

U. S. A. 1972.

DETERMINACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE  
COMUNICACIONES POR DISPERSION TROPOSFERICA MEDIANTE  
EL COMPUTADOR DIGITAL. (Tesis).

Garbi, Giannina

Montes, José

Caracas, Venezuela. 1974.

### ELECTROMAGNETIC WAVES AND RADIATING SYSTEMS.

Jordan, Edward C.

Balmain, Keith G.

Prentice-Hall, Inc.

New Jersey, U. S. A. 1968.

ENGINEERING CONSIDERATIONS FOR MICROWAVE COMMUNICA-  
TIONS SYSTEMS.

GTE Lenkurt Incorporated.

U. S. A. 1975.

FUNDAMENTOS DE PROPAGACION DE MICROONDAS

Yamane, Noboru.

Publicaciones Telecomex, Secretaría de Comunicaciones  
y Transportes.

México, D.F. 1974.

THE LENKURT DEMODULATOR

Selected articles.

GTE Lenkurt Incorporated

U. S. A. 1971.

TRANSMISSION LOSS PREDICTIONS FOR TROPOSPHERIC  
COMMUNICATION CIRCUITS

Volúmenes 1 y 2.

Rice, P. L.

Longley, A. G.

Norton, K. A.

Barsis, A. P.

National Bureau of Standards

Nota Técnica 101 (Revisada)

U. S. Department of Commerce

Washington, D. C. U. S. A. Enero 1, 1967.

TROPOSPHERIC RADIOWAVE PROPAGATION BEYOND THE  
HORIZON.

Du Castel, François

Pergamon Press Ltd.

London, England. 1966.