

68
Zej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Diseño de un programa para el cálculo de
la zona de coordinación entre estaciones
terrenas y terrenales en la banda de
frecuencias de 1 a 40 GHz

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N

Francisco Javier Galicia Arroccena
Alfredo Hernández Mendoza
Oscar Peña Torres

ASESOR. ING. CARLOS GIRON GARCIA



MÉXICO, D.F.

1996

Acompañado de un diskette 3 1/2

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darnos la oportunidad de crecer y formarnos en sus aulas.

A la Facultad de Ingeniería y a todos sus profesores por el gran interés y dedicación que nos brindan.

Al Ingeniero Carlos Girón García por la confianza, paciencia y tiempo que nos brindó para realizar este trabajo.

A los departamentos de Satélites y Control de Televisión de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes por su colaboración y apoyo desinteresado.

Dedicado a:

*...mis padres Ramón Galicia y Cruz
Arrocena con respeto y gratitud por su
amor, comprensión y apoyo que me han
brindado durante toda mi vida.*

*...mis hermanos Ney y Silvia y a todos mis
familiares por su ejemplo, motivación y
ayuda para el logro de mis objetivos
personales y profesionales.*

Dedicado a:

A DIOS por regalarme esta familia.

A mi madre y a mi padre (Adela y Angel)

*Quienes permitieron que este trabajo se consumara.
Quienes me dieron su amor y todo su apoyo.
Gracias por permitirme ser lo que soy.*

*A mis Hermanos (Jesús, Arturo y Jorge)
a quienes también agradezco por sus consejos
y por enseñarme a luchar por lo que quiero.*

*A sus esposas por ser como son y ayudarme en
cada momento difícil que he vivido.*

*A mi abuelita a la que extraño y que no he
podido olvidar.*

Y a todos mis amigos.....por su apoyo.

DEDICATORIA.

A Dios por todo lo que me ha dado.

A mis queridos padres Fidelia Torres Chávez y Alfonso Peña Ramírez por su cariño, confianza y paciencia y por darme todo sin esperar nada y la oportunidad de ser algo en la vida, mil gracias.

A mi adorada hermana María de Lourdes Peña Torres por brindarme su amistad y cariño, pero sobre todo por el gran ejemplo que siempre me ha dado.

A la memoria de mis abuelitos Gabriela Ramírez y Mateo Peña con todo respeto y agradecimiento dondequiera que se encuentren.

A mi abuelita Flora Chávez con gran admiración.

A Martín y Leonor por estar con nosotros en los momentos más difíciles.

TEMARIO

INTRODUCCION	1
I. DESCRIPCION DE LA ATRIBUCION DE LOS SERVICIOS QUE OPERAN EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz, TANTO A NIVEL NACIONAL COMO INTERNACIONAL.	3
I.1 Generalidades.	3
I.2 Espectro radioeléctrico.	3
I.3 Prioridad de los servicios de radiocomunicación en el Cuadro de Atribución.	4
I.4 Servicios de radiocomunicación prestados en México.	4
I.5 Cuadro de Atribución Nacional de Frecuencias.	5
II. METODO DE COORDINACION.	19
II. 1 Conceptos y consideraciones generales.	20
II.1.1 Pérdida de transmisión mínima admisible.	20
II.1.2 Pérdida básica de transmisión mínima admisible.	21
II.1.3 Nivel admisible de emisión interferente.	25
II.1.4 Ganancia de la antena de una estación terrena en la dirección del horizonte, en el caso de satélites geostacionarios.	33
II.1.4.1 Consideraciones generales.	33
II.1.4.2 Método numérico para la determinación del ángulo entre el eje del haz principal y la dirección del horizonte correspondiente al acimut considerado $\varphi(\alpha)$.	33
II.1.4.3 Determinación de la ganancia de la antena.	34
II.2 Determinación de la distancia de coordinación para el modo de propagación 1. Mecanismos de propagación a lo largo del círculo máximo.	36
II.2.1 Zonas radioclimáticas.	36
II.2.2 Cálculo de las distancias de coordinación para trayectos comprendidos en una sola zona radioclimática.	36
II.2.2.1 Consideraciones generales.	36
II.2.2.2 Método numérico.	37
II.2.3 Cálculo de las distancias de coordinación para trayectos mixtos.	38
II.2.4 Distancia máxima de coordinación para el modo de propagación 1.	39
II.3 Determinación del contorno de coordinación para el modo de propagación 2 - Dispersión debida a hidrometeoros.	39
II.3.1 Pérdida de transmisión normalizada $L_2(0.01)$.	40
II.3.2 Zonas hidrometeorológicas.	41
II.3.3 Cálculo de la distancia de dispersión por lluvia (d_r).	42
II.3.3.1 Método numérico.	42

II.3.4 Distancias máximas de dispersión por lluvia.	43
II.3.5 Trazado del contorno de coordinación en caso de dispersión por lluvia.	43
II.3.6 Ausencia de efectos de trayectos mixtos.	44
II.4 Valor mínimo de la distancia de coordinación.	44
II.5 Distancia de coordinación.	44
III. DESARROLLO DEL PROGRAMA.	46
III.1 Programa AP28.	46
III.2 Estructura.	47
III.3 Archivos de datos.	52
III.4 Obtención de parámetros y resultados.	53
III.4.1 Cálculo del nivel admisible de la emisión interferente $[P_r(p)]$.	53
III.4.2 Cálculo de la ganancia de la antena de la estación terrena en todos los acimutes.	54
III.4.3 Cálculo de la pérdida de transmisión normalizada y distancias de coordinación para el modo de propagación 2.	55
III.4.4 Cálculo de las distancias de coordinación para el modo de propagación 1 y gráficas de los contornos de propagación para ambos modos de propagación.	56
III.4.5 Presentación de resultados.	57
III.5 Manera de utilizar el programa AP28.	58
III.5.1 Programa principal.	58
III.5.2 Editor AP28.	62
IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	65
IV.1 Datos de los sistemas analizados.	65
IV.2 Cálculo del nivel admisible de la emisión interferente.	66
IV.3 Cálculo del ángulo máximo del horizonte.	66
IV.4 Cálculo de la ganancia.	68
IV.5 Cálculo de la pérdida básica de transmisión mínima admisible $L_b(p)$.	70
IV.6 Cálculo de las distancias de coordinación para el modo de propagación 1.	72
IV.7 Cálculo de la distancia de dispersión por lluvia (d_s), modo de propagación 2.	77
IV.8 Contornos de coordinación.	79
IV.9 Conclusiones.	84
Apéndice A Recomendaciones 356-4 y 357-3 del CCIR.	86
Apéndice B Perfiles topográficos de la ciudad de Tijuana.	88
BIBLIOGRAFIA.	92

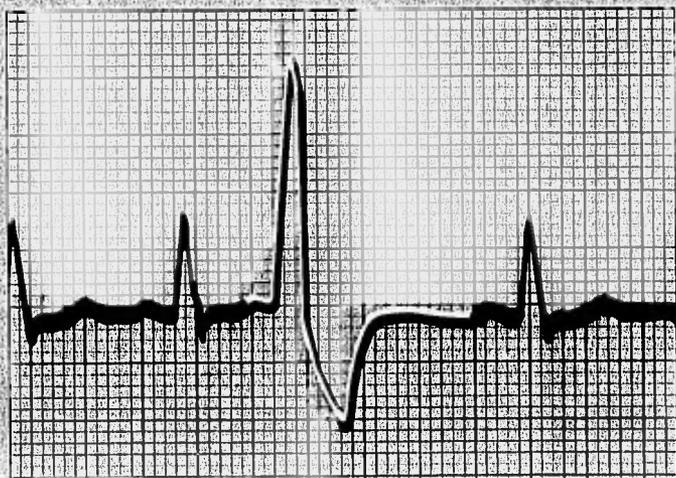
INTRODUCCION.

La compartición de algunas bandas de frecuencias entre 1 y 40 GHz por estaciones terrenas (de servicio fijo por satélite) y estaciones terrenales (de microondas) puede ocasionar niveles perjudiciales de interferencia entre ambos sistemas. Su magnitud está en función de la pérdida de transmisión a lo largo de la trayectoria de interferencia que a su vez, depende de otros factores como: longitud, disposición geométrica general del trayecto, directividad de las antenas, condiciones radiometeorológicas y porcentajes de tiempo durante los cuales la pérdida de transmisión no debe ser excedida.

Los análisis de interferencia correspondientes tienen especial importancia para los sistemas localizados en la frontera norte de nuestro país, debido a que las estaciones terrenales ahí instaladas pueden ser objeto de emisiones perjudiciales por parte de estaciones terrenas ubicadas al sur de Estados Unidos; del mismo modo que las estaciones terrenas de México pueden afectar los sistemas de microondas de E.U.A..

La entidad regulatoria en México es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y es el organismo encargado de recibir y revisar la documentación técnica correspondiente a los estudios realizados por la administración norteamericana de comunicaciones (FCC: Federal Communications Commission) respecto a la protección y perjuicio por parte de sus estaciones de servicio satelital; los cálculos y consideraciones utilizadas se basan en el procedimiento descrito en el Apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la U.I.T., que permite determinar el área alrededor de una estación terrena, fuera de la cual una estación terrenal no causa ni está sujeta a emisiones de interferencia mayores a un nivel admisible (zona de coordinación); por otra parte, deben ser enviados estudios semejantes obtenidos para estaciones terrenas ubicadas en el norte de nuestro país; sin embargo, debido a lo complicado y tedioso que resulta este procedimiento no se ha llevado a cabo su completa aplicación, trayendo como consecuencia la entrega incorrecta de resultados, así como la falta de verificación de aquéllos que se han recibido, es por ello que el presente trabajo está enfocado primeramente a proporcionar una explicación más clara sobre el Apéndice 28 y después, a elaborar un programa de cálculo que obtenga los parámetros que de él se desprenden, de manera sencilla y confiable, tomando en cuenta las consideraciones ahí mencionadas. De esta forma, se pretende cumplir con lo establecido en el proceso de solicitud de coordinación de estaciones terrenas entre administraciones, de acuerdo a los lineamientos de los reglamentos, recomendaciones y acuerdos internacionales, así como ahorrar tiempo en la realización de cálculos y la obtención de resultados.

CAPITULO I



CAPTULO I

DESCRIPCION DE LA ATRIBUCION DE LOS SERVICIOS QUE OPERAN EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz, TANTO A NIVEL NACIONAL COMO INTERNACIONAL.

I.1 Generalidades.

Debido a las crecientes actividades económicas, políticas, culturales y sociales del México de hoy, es cada vez mayor la demanda de los servicios de radiocomunicación.

Esta gran demanda ha conducido a establecer los mecanismos para utilizar de manera más óptima el espectro radioeléctrico, cuyas bandas de frecuencia se especifican en el Cuadro de Atribución Nacional de Frecuencias.

Esta especificación de bandas de frecuencias tiene la finalidad de encuasar de manera planificada los distintos servicios de radiocomunicación que ofrece el país a los usuarios nacionales; así como, coordinarlos con los servicios que ofrecen el resto de los países del mundo.

En el Cuadro de Atribución se señala la categoría atribuida a los diferentes servicios así como las condiciones específicas y restricciones en el uso de algunas frecuencias por determinados servicios de radiocomunicación.

I.2 Espectro radioeléctrico.

El Espectro Radioeléctrico es el medio o espacio por donde se propagan las ondas radioeléctricas. Ampliando este concepto, podemos decir que se trata de un conjunto de radiofrecuencias cuyo límite se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz de la manera siguiente:

Banda	Subdivisión de Frecuencias	Rango de Frecuencias
VLF	Frecuencia Muy Baja	3 a 30 kHz
LF	Frecuencia Baja	30 a 300 kHz
MF	Frecuencia Mediana	300 a 3000 kHz
HF	Frecuencia Alta	3 a 30 MHz
VHF	Frecuencia Muy Alta	30 a 300 MHz
UHF	Ultra Alta Frecuencia	300 a 3000 MHz
SHF	Super Alta Frecuencia	3 a 30 GHz
EHF	Frecuencia Extremadamente Alta	30 a 300 GHz
		300 a 3000 GHz

Tabla I.1
Espectro radioeléctrico.

1.3 Prioridad de los servicios de radiocomunicación en el Cuadro de Atribución.

En el Cuadro de Atribución Nacional de Frecuencias, los servicios se encuentran divididos en títulos primario, secundario y permitido.

Los servicios primarios tiene prioridad absoluta sobre cualquier otra categoría. En el cuadro, un servicio atribuido a título primario se indica con letras mayúsculas.

Los servicios permitidos y primarios tiene los mismos derechos salvo que, en la preparación de planes de frecuencias, los servicios primarios con relación a los servicios permitidos, serán los primeros en escoger frecuencias.

Los servicios secundarios:

- No deben causar **interferencia perjudicial**¹ a las estaciones de un servicio primario o de un servicio permitido a las que se le hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
- No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario o de un servicio permitido a las que se le hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
- Tienen derecho a la protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones del mismo servicio o de otros servicios a las que se les asignen frecuencias ulteriormente.

Los servicios secundarios se encuentran inscritos dentro del cuadro con caracteres normales.

1.4 Servicios de radiocomunicación prestados en México.

El Cuadro de Atribución muestra la forma en que se utiliza el espectro radioeléctrico en México para proporcionar una gran variedad de servicios, siendo éstos:

- Fijo: Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados. Restringido a señales de televisión, radiotelefonía, radiotelegrafía, enlaces estudio-planta para los sistemas de radiodifusión de AM y FM, música continua, enlaces de microondas punto a punto y punto a multipunto, radiotransmisión de datos, etc.

¹ **Interferencia perjudicial**: describe el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción de un sistema, que degrada gravemente la calidad de recepción, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.

- Fijo por satélite: Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas² situadas en puntos fijos determinados, cuando se utilizan uno o más satélites; en algunos casos, este servicio incluye enlaces entre satélites que pueden realizarse también dentro del servicio entre satélites; el servicio fijo por satélite puede también incluir enlaces de conexión para otros servicios de radiocomunicación espacial.
- Móvil aeronáutico: Servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre estaciones de aeronave, en el que también pueden participar las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros que operen en las frecuencias de socorro y de emergencia designadas.
- Móvil terrestre: Servicio móvil entre estaciones base y estaciones móviles terrestres, o entre estaciones móviles terrestres. Este servicio incluye radiotelefonía celular, radiocomunicación móvil especializada de flotillas, radiolocalización móvil de personas, búsqueda de personal, radiotelefonía privada, banda civil, sistemas personales de comunicación, etc.
- Móvil marítimo: Servicio móvil entre estaciones costeras y estaciones de barco, entre estaciones de barco, o entre estaciones de comunicaciones a bordo asociadas; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.
- Móvil por satélite: Servicio de radiocomunicación:
 - Entre estaciones terrenas móviles y una o varias estaciones espaciales o entre estaciones espaciales utilizadas por este servicio; o
 - Entre estaciones terrenas móviles por intermedio de una o varias estaciones espaciales.
 También pueden considerarse incluidos en este servicio los enlaces de conexión necesarios para su explotación.
- Radiodifusión: Servicio de radiocomunicación unilateral cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonora en amplitud modulada, sonora en frecuencia modulada, de televisión en VHF y UHF, etc.

I.5 Cuadro de Atribución Nacional de Frecuencias.

A continuación se presenta la descripción de la Atribución Nacional para los servicios Fijo, Móvil, Fijo por satélite y Móvil por satélite en la banda de 1 a 40 GHz. Las regiones 1, 2 y 3 mencionadas en la parte denominada Internacional se encuentran en la Figura 1.1.

² Estación terrena: estación situada en la superficie de la Tierra o en la parte principal de la atmósfera terrestre destinada a establecer comunicación:

a) con una o varias estaciones espaciales;

b) con una o varias estaciones de la misma naturaleza, mediante el empleo de uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio.

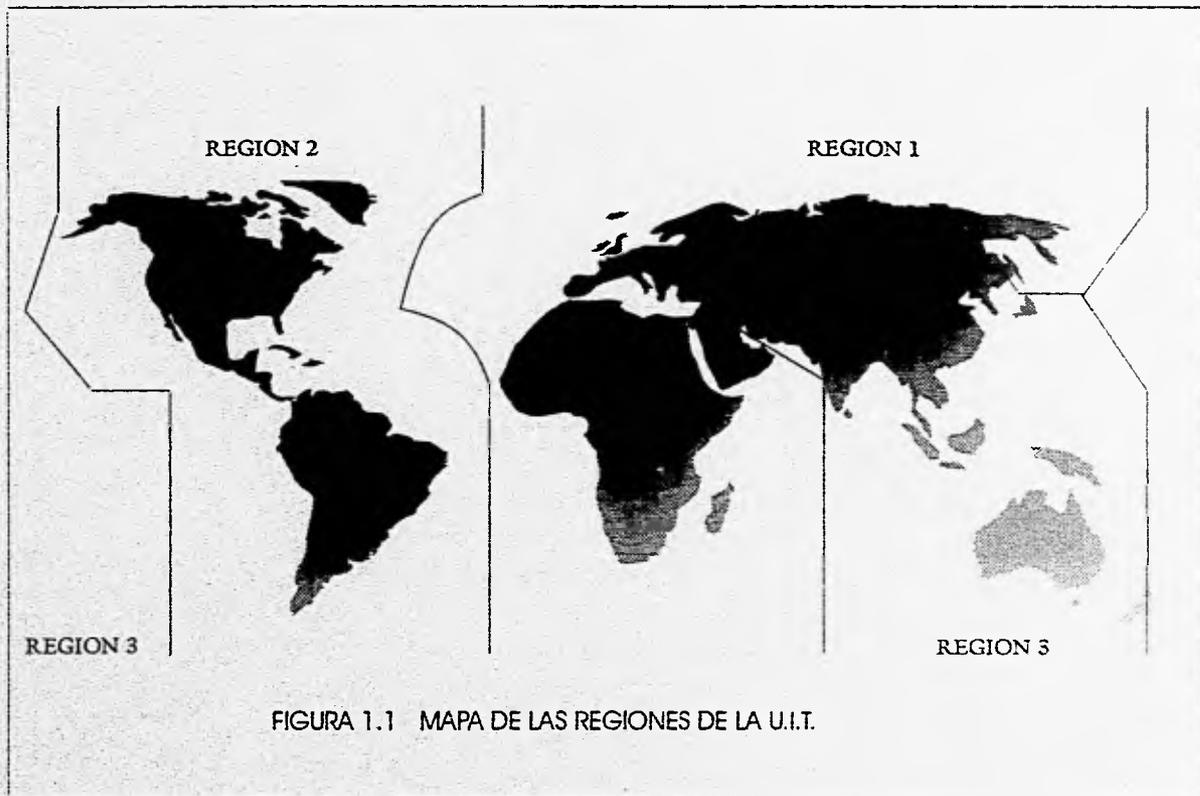


FIGURA 1.1 MAPA DE LAS REGIONES DE LA U.I.T.

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN MHz)			MEXICO (EN MHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
1427 - 1429 OPERACIONES ESPACIALES (Tierra-espacio) FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico			1427 - 1429 FIJO MOVIL TERRESTRE
1429 - 1525 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico	1429 - 1525 FIJO MOVIL		1429 - 1525 FIJO
1525 - 1530 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) FIJO Exploración de la Tierra por satélite Aeronáutico	1525 - 1530 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil	1525 - 1530 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) FIJO Exploración de la Tierra por satélite Móvil	1525 - 1530 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil
1530 - 1533 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) MOVIL MARITIMO Y TERRESTRE POR SATELITE (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico	1530 - 1533 OPERACIONES ESPACIALES MOVIL MARITIMO Y TERRESTRE POR SATELITE (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil		1530 - 1533 OPERACIONES ESPACIALES MOVIL MARITIMO Y TERRESTRE POR SATELITE Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil
1533-1535 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico Móvil terrestre por satélite (espacio-Tierra)	1533-1535 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) MOVIL MARITIMO POR SATELITE (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil Móvil terrestre por satélite (espacio-Tierra)		1533-1535 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) MOVIL MARITIMO POR SATELITE (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil Móvil terrestre por satélite (espacio-Tierra)
1535-1544 MOVIL MARITIMO POR SATELITE (espacio-Tierra) Móvil terrestre por satélite (espacio-Tierra)			1535-1544 MOVIL MARITIMO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL TERRESTRE POR SATELITE

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN MHz)			MEXICO (EN MHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
1544-1545 MOVIL POR SATELITE (espacio-Tierra)			1544-1545 MOVIL POR SATELITE (espacio-Tierra)
1545-1555 MOVIL AERONAUTICO POR SATELITE (espacio-Tierra)			1545-1555 MOVIL AERONAUTICO POR SATELITE (espacio-Tierra)
1555-1559 MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (espacio-Tierra)			1555-1559 MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (espacio-Tierra)
1559-1610 RADIONAVEGACION AERONAUTICA RADIONAVEGACION POR SATELITE (espacio-Tierra)			1559-1610 RADIONAVEGACION AERONAUTICA RADIONAVEGACION POR SATELITE (espacio-Tierra)
1610-1626.5 RADIONAVEGACION AERONAUTICA	1610-1626.5 RADIONAVEGACION AERONAUTICA Radiodeterminación por satélite (Tierra-espacio)	1610-1626.5 RADIONAVEGACION AERONAUTICA Radiodeterminación por satélite (Tierra-espacio)	1610-1626.5 RADIONAVEGACION AERONAUTICA RADIODETERMINACION POR SATELITE (Tierra-espacio)
1626.5-1631.5 MOVIL MARITIMO POR SATELITE (Tierra-espacio) Móvil terrestre por satélite (Tierra-espacio)			1626.5-1631.5 MOVIL MARITIMO POR SATELITE Móvil terrestre por satélite
1631.5-1634.5 MOVIL MARITIMO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (Tierra-espacio)			1631.5-1634.5 MOVIL MARITIMO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (Tierra-espacio)
1634.5-1643.5 MOVIL MARITIMO POR SATELITE (Tierra-espacio) Móvil terrestre por satélite (Tierra-espacio)			1634.5-1643.5 MOVIL MARITIMO POR SATELITE Móvil terrestre por satélite (Tierra-espacio)
1643.5-1646.5 MOVIL POR SATELITE (Tierra-espacio)			1643.5-1646.5 MOVIL POR SATELITE (Tierra-espacio)
1646.5-1656.5 MOVIL AERONAUTICO POR SATELITE (R) (Tierra-espacio)			1646.5-1656.5 MOVIL AERONAUTICO POR SATELITE (R) (Tierra-espacio)

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN MHz)			MEXICO (EN MHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
1656.5-1660 MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (Tierra-espacio)			1656.5-1660 MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (Tierra-espacio)
1660-1660.5 RADIOASTRONOMIA MOVIL TERRESTRE POR SATELITE			1660-1660.5 RADIOASTRONOMIA MOVIL TERRESTRE POR SATELITE (Tierra-espacio)
1660.5-1668.4 RADIOASTRONOMIA INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo) Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico			1660.5-1668.4 RADIOASTRONOMIA INVESTIGACION ESPACIAL (Pasivo) Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico
1668.4-1670 AYUDAS A LA METEOROLOGIA FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMIA			1668.4-1670 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMIA
1670-1690 AYUDA A LA METEOROLOGIA FIJO METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico			1670-1690 AYUDAS A LA METEOROLOGIA FIJO METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico
1690-1700 AYUDAS A LA METEOROLOGIA METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico	1690-1700 AYUDAS A LA METEOROLOGIA METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra)		1690-1700 AYUDAS A LA METEOROLOGIA METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra)
1700-1710 FIJO METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) Móvil salvo móvil aeronáutico	1700-1710 FIJO METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico		1700-2300 FIJO

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN MHz)			MEXICO (EN MHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
1710-2290 FIJO Móvil	1710-2290 FIJO MOVIL		
2290-2300 FIJO INVESTIGACION ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra) Móvil salvo móvil aeronáutico	2290-2300 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico INVESTIGACION ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)		
2300-2450 FIJO Aficionados Móvil Radiocomunicación	2300-2450 MOVIL FIJO RADIOLOCALIZACION Aficionados		2300-2450 FIJO
2450-2483.5 FIJO MOVIL Radiolocalización	2450-2483.5 FIJO MOVIL RADIOLOCALIZACION		2450-2483.5 FIJO MOVIL
2483.5-2500 FIJO MOVIL Radiolocalización	2483.5-2500 FIJO MOVIL RADIODETERMINACION POR SATELITE (espacio-Tierra) RADIOLOCALIZACION	2483.5-2500 FIJO MOVIL Radiodeterminación por satélite	2483.5-2500 FIJO RADIODETERMINACION POR SATELITE (espacio-Tierra)
3400-3600 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) Móvil Radiolocalización	3400-3500 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) Aficionados Móvil Radiolocalización		3400-3625 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)
3600-4200 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) Móvil	3500-3700 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización		3625-3700 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)
	3700-4200 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico		3700-4200 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)
4200-4400 RADIONAVEGACION AERONAUTICA			4200-4400 RADIONAVEGACION AERONAUTICA
4400-4500 FIJO MOVIL			4400-5000 FIJO

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN MHz)			MEXICO (EN MHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
4500-4800 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL			
4800-4990 FIJO MOVIL Radioastronomía			
4990-5000 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMIA Investigación espacial (pasivo)			
5850-5925 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL	5850-5925 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Aficionados Radiolocalización	5850-5925 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Radiolocalización	5850-5925 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio)
5925-7075 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL			5925-6425 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio)
7075-7250 FIJO MOVIL			6425-7750 FIJO
7250-7300 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL			
7300-7450 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico			
7450-7550 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico			
7550-7750 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico			
7750-7900 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico			7750-8215 FIJO

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN GHz)			MEXICO (EN GHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
7.900-8.025 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL			
8.025-8.175 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra)	8.025-8.175 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (espacio-Tierra) FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL	8.025-8.175 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra)	7.750-8.215 FIJO
8.175-8.215 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra) METEOROLOGIA POR SATELITE (Tierra-espacio)	8.175-8.215 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (espacio-Tierra) FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) METEOROLOGIA POR SATELITE MOVIL	8.175-8.215 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) METEOROLOGIA POR SATELITE MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra)	
8.215-8.4 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra)	8.215-8.4 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (espacio-Tierra) FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL	8.215-8.4 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra)	8.215-8.5 FIJO
8.4-8.5 FIJO MOVIL, salvo móvil aeronáutico INVESTIGACION ESPACIAL (espacio-Tierra)			
10.5-10.55 FIJO MOVIL Radiolocalización	10.5-10.55 FIJO MOVIL RADIOLOCALIZACION		10.5-10.68 FIJO
10.55-10.6 FIJO MOVIL, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización			

CUADRO DE ATRIBUCIÓN NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN GHz)			MEXICO (EN GHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
10.6-10.68 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo) FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMIA INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo) Radiolocalización			
10.7-11.7 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio) MOVIL salvo móvil aeronáutico	10.7-11.7 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico		10.7-11.7 FIJO
11.7-12.5 FIJO RADIODIFUSION RADIODIFUSION POR SATELITE Móvil salvo móvil aeronáutico	11.7-12.1 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) Móvil salvo móvil aeronáutico	11.7-12.2 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSION POR SATELITE	11.7-12.2 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)
	12.1-12.2 FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)		
	12.2-12.7 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSION	12.2-12.5 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSION	12.2-12.7 RADIODIFUSION POR SATELITE RADIODIFUSION
12.5-12.75 FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio)	12.5-12.75 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSION	12.7-13.25 FIJO	
12.75-13.25 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Investigación espacial (espacio lejano) (espacio-Tierra)			
14-14.25 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) RADIONAVEGACION Investigación espacial			14-14.5 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio)
14.25-14.3 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) RADIONAVEGACION Investigación espacial			

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN GHz)			MEXICO (EN GHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
14.3-14.4 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL salvo móvil aeronáutico Racionavegación por satélite	14.3-14.4 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) Racionavegación por satélite	14.3-14.4 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL salvo móvil aeronáutico Racionavegación por satélite	
14.4-14.47 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL salvo móvil aeronáutico Investigación espacial (espacio-Tierra)			
14.47-14.5 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL salvo móvil aeronáutico Radioastronomía			
14.5-14.8 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Investigación espacial			14.5-15.35 FIJO
14.8-15.35 FIJO MOVIL Investigación espacial			
17.3-17.7 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) Radiolocalización			17.3-17.7 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio)
17.7-18.1 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio) MOVIL			17.7-19.7 FIJO
18.1-18.6 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL			
18.6-18.8 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico Exploración de la Tierra por satélite (pasivo)	18.6-18.8 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo) FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutico	18.6-18.8 FIJO FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) MOVIL salvo móvil aeronáutica Exploración de la Tierra por satélite (pasivo)	

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN GHz)			MEXICO (EN GHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
18.8-19.7			
FIJO			
FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)			
MOVIL			
19.7-20.2			19.7-20.2
FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)			FIJO POR SATELITE
Móvil por satélite (espacio-Tierra)			(espacio-Tierra)
			Móvil por satélite
			(espacio-Tierra)
20.2-21.2			20.2-21.2
FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)			FIJO POR SATELITE
MOVIL POR SATELITE (espacio-Tierra)			(espacio-Tierra)
Frecuencia patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra)			MOVIL POR SATELITE
			(espacio-Tierra)
21.2-21.4			21.2-23.6
EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)			FIJO
FIJO			
MOVIL			
INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)			
21.4-22			
FIJO			
MOVIL			
22-22.21			
FIJO			
MOVIL salvo móvil aeronáutico			
22.21-22.5			21.2-23.6
EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)			FIJO
FIJO			
MOVIL salvo móvil aeronáutico			
RADIOASTRONOMÍA			
INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)			
22.5-22.55	22.5-22.55		
FIJO	FIJO		
MOVIL	MOVIL		
	RADIODIFUSION POR SATELITE		
22.55-23	22.55-23		
FIJO	FIJO		
ENTRE SATELITES	ENTRE SATELITES		
MOVIL	MOVIL		
	RADIODIFUSION POR SATELITE		
23-23.55			
FIJO			
ENTRE SATELITES			
MOVIL			
23.55-23.6			
FIJO			
MOVIL			

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN GHz)			MEXICO (EN GHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
25.25-27 FIJO MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-espacio) Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio)			25.25-27 FIJO MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-espacio)
27-27.5 FIJO MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-espacio)	27-27.5 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-espacio)		27-27.5 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (espacio-espacio)
27.5-29.5 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL			27.5-29.5 FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL
29.5-30 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) Móvil por satélite (Tierra-espacio)			29.5-30 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) Móvil por satélite (Tierra-espacio)
30-31 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL POR SATELITE (Tierra-espacio) Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra)			30-31 FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) MOVIL POR SATELITE (Tierra-espacio) Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra)
31-31.3 FIJO MOVIL Frecuencias y señales horarias por satélite (espacio-Tierra) Investigación espacial			31-31.3 FIJO MOVIL Frecuencias y señales horarias por satélite (espacio-Tierra) Investigación espacial
36-37 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo) FIJO MOVIL INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)			36-37 FIJO MOVIL

CUADRO DE ATRIBUCION NACIONAL DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 1 A 40 GHz			
INTERNACIONAL (EN GHz)			MEXICO (EN GHz)
REGION 1	REGION 2	REGION 3	SERVICIOS
37-37.5			37-37.5
FIJO			FIJO
MOVIL			MOVIL
37.5-39.5			37.5-39.5
FIJO			FIJO
FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)			FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)
MOVIL			MOVIL
39.5-40.5			39.5-40.5
FIJO			FIJO
FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)			FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra)
MOVIL			MOVIL
MOVIL POR SATELITE (espacio-Tierra)			MOVIL POR SATELITE (espacio-Tierra)

CAPITULO II



CAPITULO II

METODO DE COORDINACION.

En este capítulo se describe un procedimiento para determinar la zona de coordinación¹ en torno al transmisor o receptor de una estación terrena que funciona en las bandas de frecuencias comprendidas entre 1 y 40 GHz, compartidas entre servicios de radiocomunicación espaciales y terrenales. El procedimiento descrito se basa en el Apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicación de la U.I.T.

La presencia o instalación de una estación terrenal² dentro de la zona de coordinación de una estación terrena no impide necesariamente la explotación satisfactoria de cualquiera de las dos estaciones debido a que el método empleado para el cálculo de las distancias de coordinación³ se basa en la hipótesis más desfavorable en lo que a interferencia se refiere.

Para determinar la zona de coordinación se consideran dos casos:

- 1.- Cuando la estación terrena está transmitiendo y en consecuencia en condición de causar interferencia a una estación terrenal; y
- 2.- Cuando la estación terrena está recibiendo; es decir, expuesta a la interferencia de una estación terrenal.

Cuando una estación terrena está destinada a transmitir o recibir distintos tipos de emisiones, los parámetros a utilizar son los que nos conduzcan a obtener las mayores distancias de coordinación para cada haz de antena y en el rango de frecuencias que se compartirán con algún servicio terrenal.

Para poder calcular las distancias de coordinación, es necesario recurrir a varios conceptos y consideraciones fundamentales las cuales se describen a continuación.

¹ Zona de coordinación : Zona asociada a una estación terrena fuera de la cual una estación terrenal, que comparte la misma banda de frecuencias, no puede producir ni sufrir ninguna interferencia superior a la interferencia admisible.

² Estación terrenal : Estación que efectúa radiocomunicaciones terrenales (aquella que no utiliza estaciones espaciales, satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio).

³ Distancias de coordinación : En un acimut determinado, distancia a partir de la posición de una estación terrena, más allá de la cual una estación terrenal, que comparte la misma banda de frecuencias, no puede producir ni sufrir ninguna interferencia superior a la interferencia admisible.

II. 1 Conceptos y consideraciones generales.

II.1.1 Pérdida de transmisión mínima admisible.

La determinación de la distancia de coordinación, entendida como la distancia desde una estación terrena, más allá de la cual la interferencia sufrida o causada por una estación terrenal puede considerarse despreciable, se basa en el postulado de que la atenuación de una señal interferente aumenta regularmente en función de la distancia.

El nivel de atenuación necesario entre un transmisor interferente y un receptor interferido lo da la pérdida de transmisión mínima admisible durante un periodo $p\%$ de tiempo [valor que debe superar la atenuación prevista durante el $(100-p)\%$ de tiempo] (Figura 2.1). La pérdida de transmisión mínima admisible esta dada por:

$$L(p) = P_t' - P_r(p)$$

donde:

P_t' : es la potencia máxima de transmisión (dB) disponible a la entrada de la antena de una estación transmisora interferente en el ancho de banda de referencia.

$P_r(p)$: nivel admisible de una emisión interferente (dBW) en el ancho de banda de referencia, valor que no debe superarse durante un porcentaje de tiempo superior a p , a la salida de la antena receptora de una estación interferida cuando la emisión interferente procede de una misma fuente.

P_t' y $P_r(p)$ están definidas para el mismo ancho de banda de radiofrecuencia (ancho de banda de referencia) y $L(p)$ y $P_r(p)$ para el mismo porcentaje de tiempo, estos valores están determinados por los criterios de calidad de funcionamiento del sistema interferido.

Para pequeños porcentajes de tiempo, es necesario distinguir entre dos mecanismos de atenuación (Figura 2.2):

- 1.- Atenuación de señales sujetas a propagación troposférica; a lo largo de trayectos que siguen un arco de círculo máximo entre un transmisor interferente y un receptor interferido; modo 1.
- 2.- Atenuación de señales sujetas a dispersión por hidrometeoros (por lluvia); modo 2.

II.1.2 Pérdida básica de transmisión mínima admisible.

Para el modo de propagación I la **pérdida de transmisión**⁴ se define por parámetros separables: una **pérdida básica de transmisión**⁵ (es decir, la atenuación entre antenas isotrópicas) y las ganancias efectivas de las antenas en uno y otro extremo del trayecto de interferencia. La pérdida básica de transmisión mínima admisible está dada por:

$$L_b(p) = P_t' + G_t' + G_r - P_r(p)$$

donde:

$L_b(p)$: pérdida básica de transmisión mínima admisible (dB) para el p% del tiempo [valor que debe superar la pérdida básica de transmisión prevista durante el (100-p)% del tiempo].

G_t' : ganancia isotrópica (dB) de la antena transmisora de la estación interferente. Si la estación interferente es una estación terrena, ésta es la ganancia de la antena en dirección del horizonte físico en el acimut considerado; en el caso de una estación terrenal, debe utilizarse la ganancia máxima de antena.

G_r : ganancia isotrópica (dB) de la antena receptora de la estación interferida. Si la estación interferida es una estación terrena, ésta es la ganancia en dirección del horizonte físico, en el acimut considerado; en el caso de una estación terrenal, debe utilizarse la ganancia máxima de antena de esta estación.

⁴ **Pérdida de transmisión** : Relación, habitualmente expresada en decibelios, para un enlace radioeléctrico, entre la potencia radiada por la antena de transmisión y la potencia que estaría disponible a la salida de la antena de recepción si no hubiera ninguna pérdida en los circuitos de radiofrecuencia, suponiendo que se mantengan las características de directividad de las antenas.

La pérdida de transmisión es igual a la pérdida entre las terminales de la antena menos las pérdidas producidas en los circuitos radioeléctricos.

⁵ **Pérdida básica de transmisión** : Pérdida de transmisión que se produciría si se sustituyeran las antenas por antenas isotrópicas con la misma polarización que las antenas reales, conservando el trayecto de propagación, pero despreciando los efectos de los obstáculos próximos a las antenas.

La pérdida básica de transmisión es igual a la relación entre la potencia isotrópica radiada efectiva del conjunto transmisor y la potencia disponible procedente de una antena isotrópica, receptora. El efecto del terreno local próximo a las antenas se incluye en el cálculo de la ganancia de las antenas, pero no en la pérdida básica de transmisión.

Para el caso de una estación terrena transmisora, de la ecuación anterior podemos separar el factor de sensibilidad a las interferencias de las estaciones terrenales interferidas: $S = G_i - P_i(p)$; de tal modo que :

$$L_i(p) = P_i' + G_i' + S$$

obteniendo S del Cuadro I.

Para el caso de una estación terrena receptora, de la misma ecuación podemos separar la potencia isotrópica radiada efectiva⁶ (PIRE) de las estaciones terrenales interferentes: $E = P_i' + G_i'$; de tal modo que :

$$L_i(p) = E + G_i - P_i(p)$$

obteniendo E del Cuadro II.

⁶ Potencia isotrópica radiada efectiva : Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia, con relación a una antena isotrópica en una dirección dada (Ganancia isotrópica o absoluta)
 $PIRE = P_{tx} + G_{tx}$

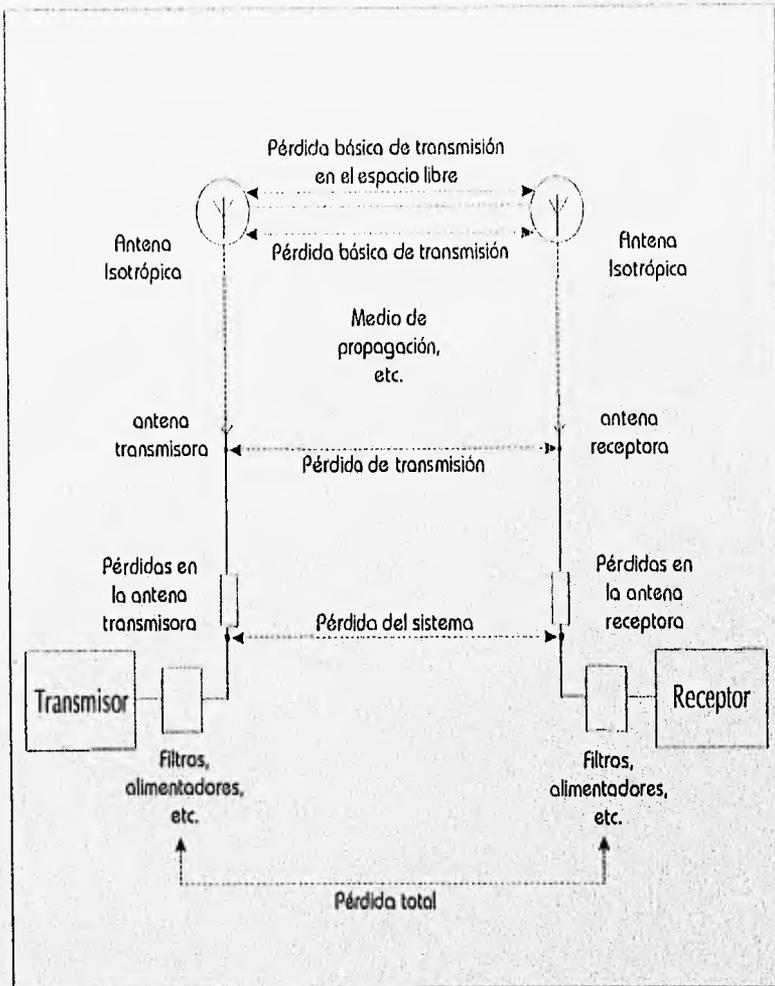


Figura 2.1

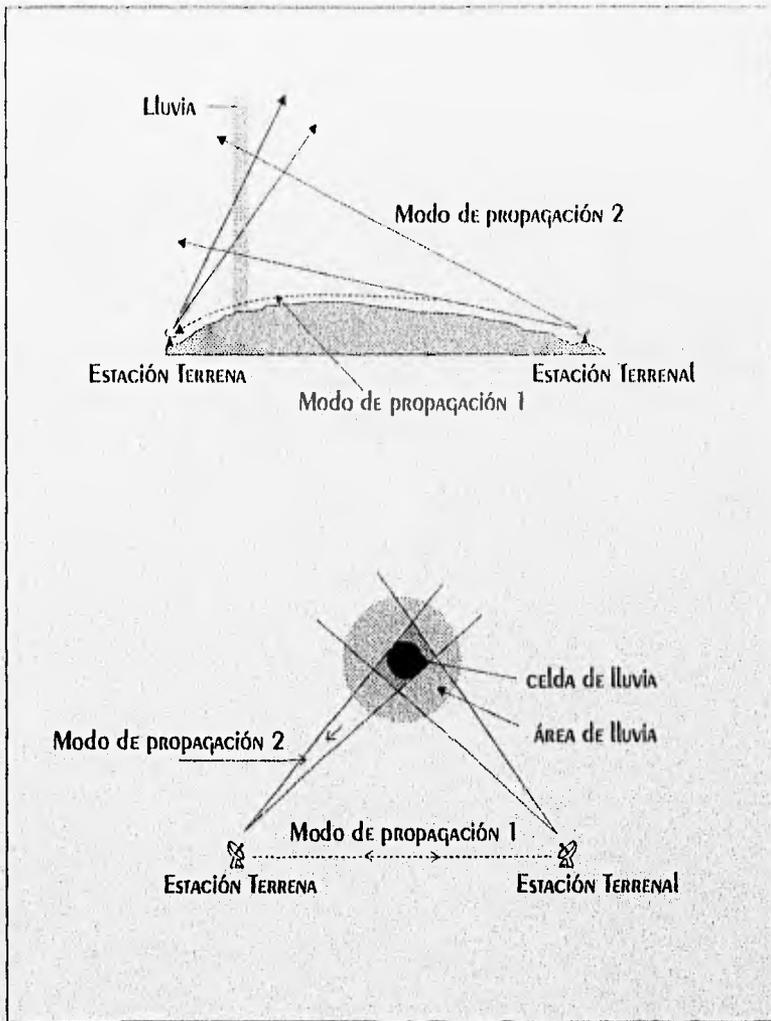


Figura 2.2

II.1.3 Nivel admisible de emisión interferente.

El nivel admisible de la emisión interferente (dBW) en el ancho de banda de referencia, que no debe superarse durante más de un p% del tiempo a la salida de la antena receptora de una estación sujeta a interferencia, está dado, para cada fuente de interferencia⁷, por la siguiente fórmula general:

$$P_i(p) = 10 \log(kT_e B) + J + M(p) - W$$

donde:

$$M(p) = M(p, n) = M_0(p_0)$$

siendo:

k : Constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K);

T_e : Temperatura de ruido térmico del sistema receptor (K), en la salida de la antena receptora. La temperatura de ruido del sistema receptor en Kelvins, referida a las terminales de salida de la antena receptora, puede determinarse por la fórmula siguiente:

$$T_e = T_a + 290(e - 1) + e T_r$$

donde :

T_a : Temperatura de ruido (K), proporcionada por la antena receptora;

e : Valor numérico de la pérdida en la línea de transmisión existente entre la antena y las terminales de entrada del receptor;

T_r : Temperatura de ruido (K) del receptor, incluidas las contribuciones de todas las etapas sucesivas referidas a las terminales de entrada del receptor.

Para receptores de sistemas de relevadores radioeléctricos⁸ y cuando no se conozca la pérdida en la línea de transmisión de una estación terrena de recepción, se utilizará un valor de e = 1.

B : Ancho de banda de referencia (Hz) (ancho de banda, del sistema interferido, en que es posible determinar el valor medio de la potencia de la emisión interferente).

J : Relación (dB), a largo plazo (20% del tiempo), entre la potencia admisible de la emisión interferente y la potencia de ruido térmico del sistema de recepción, referida a las terminales de salida de la antena receptora.

⁷ Fuente de interferencia : Emisión, radiación o inducción que se determina como causa de interferencia en un sistema de radiocomunicaciones.

⁸ Sistemas de relevadores radioeléctricos : Sistema de radiocomunicación entre puntos fijos determinados funcionando en frecuencias superiores a unos 30 MHz, que utiliza la propagación troposférica y que normalmente incluye una o varias estaciones intermedias.

El factor J (dB) se define como la relación entre la potencia total de las emisiones interferentes admisible a largo plazo (20% del tiempo) en el sistema y la potencia de ruido térmico de radiofrecuencia a largo plazo en un solo receptor. En el cálculo de este factor se considera que la emisión interferente tiene una densidad espectral de potencia uniforme, teniéndose en cuenta su forma espectral efectiva por medio del factor W. En un circuito de referencia ficticio de relevadores radioeléctricos que comprende 50 tramos, la potencia de interferencia total aditiva tolerable es de 1000 pW0p^9 (Recomendación 357-3 del CCIR, ver Apéndice A) y la potencia media del ruido térmico por tramo puede suponerse que es de 25 pW0p . Por consiguiente, J está dada por la relación $1000/25$ expresada en dB, es decir, $J = 16 \text{ dB}$. En un sistema de servicio fijo por satélite, la potencia de interferencia total admisible es de 1000 pW0p (Recomendación 356-4 del CCIR, ver Apéndice A) mientras que el ruido térmico del enlace descendente no debe ser superior a 7000 pW0p , lo que hace $J \geq -8.5 \text{ dB}$.

En los sistemas digitales la interferencia se mide y especifica en términos de la proporción de bits erróneos o de su aumento admisible. Para los sistemas de relevadores radioeléctricos digitales que funcionan por encima de 10 GHz, y para todos los sistemas digitales por satélite, la potencia de interferencia a largo plazo puede ser del mismo orden de magnitud que el ruido térmico a largo plazo, lo que hace $J = 0 \text{ dB}$. En el caso de sistemas de relevadores radioeléctricos digitales que funcionan por debajo de 10 GHz, conviene que la potencia de interferencia a largo plazo no disminuya el margen de desvanecimiento del receptor en más de 1 dB. Esto se consigue seleccionando un valor de $J \geq -6 \text{ dB}$.

p_0 : porcentaje del tiempo durante el cual la interferencia procedente de todas las fuentes puede exceder el valor admisible;

n : número previsto de interferencias incidentes;

p : porcentaje del tiempo durante el cual la interferencia de una fuente puede exceder el valor admisible, puesto que no es probable que las interferencias incidentes se produzcan simultáneamente: $p = p_0 / n$;

$M_0(p_0)$: relación (dB) entre las potencias admisibles de la emisión interferente durante el $p_0\%$ y el 20% del tiempo, respectivamente, para todas las interferencias incidentes. $M_0(p_0)$ es el "margen de interferencia" (dB) entre las potencias admisibles a corto plazo ($p_0\%$) y a largo plazo (20%) de una emisión interferente.

Para los sistemas analógicos de relevadores radioeléctricos y del servicio fijo por satélite entre 1 GHz y 15 GHz, es igual a la relación (en dB) entre 50000 y 1000 pW0p (17 dB).

⁹ pW0p : Potencia de ruido definido a un nivel de transmisión cero donde la potencia de la señal de prueba tiene un valor de 1 mW ($1 \text{ mW} = 10^9 \text{ pW0p}$)

En el caso de sistemas digitales, la calidad de funcionamiento en frecuencias superiores a 10 GHz, puede definirse útilmente en la mayoría de las regiones del mundo como el porcentaje del tiempo p , durante el cual el nivel de la señal deseada puede descender por debajo del umbral de funcionamiento, definido por una proporción de bits erróneos dada. Durante el funcionamiento sin desvanecimiento del sistema, el nivel de la señal deseada supera el umbral en un margen M_s , que depende de la zona hidrometeorológica en que opere la estación. Cuanto mayor sea este margen, mayor será el nivel de la emisión interferente necesario para degradar el sistema hasta el nivel del umbral. Como primera aproximación, se puede suponer que, para pequeños porcentajes de tiempo (del orden de 0.001% a 0.003%) el nivel de emisiones interferentes tolerable es igual al ruido térmico que existe a la entrada del demodulador durante los desvanecimientos. Se puede suponer que para los sistemas digitales que funcionan en frecuencias superiores a 10 GHz, M_s es igual al margen de desvanecimiento M_d del sistema. En el caso de sistemas de relevadores radioeléctricos digitales que funcionan por debajo de 10 GHz, se supone que puede permitirse que la potencia de una emisión interferente a corto plazo exceda la potencia de la misma emisión interferente a largo plazo en una cantidad igual al margen de desvanecimiento del sistema menos J , es decir, 41 dB, si $J = -6$ dB.

M(p) : relación (dB) entre las potencias admisibles de la emisión interferente durante el $p\%$ del tiempo para una sola interferencia, y durante el 20% del tiempo para todas las interferencias incidentes.

W : El factor W (dB) es la relación entre la potencia de ruido térmico de radiofrecuencia y la potencia de una emisión interferente en el ancho de banda de referencia, cuando ambas producen la misma interferencia después de la demodulación (en un sistema digital, puede decirse que es igual a la probabilidad de bits erróneos). Para señales con modulación de frecuencia se define como sigue:

$$W = 10 \log [(P_{ra} \times P_{tr}) / (P_{ei} \times P_{tr})]$$

donde:

P_{ra} : es la potencia de ruido térmico en la salida de la antena receptora en el ancho de banda de referencia.

P_{tr} : es la potencia de interferencia en el sistema de recepción después de la demodulación.

P_{ei} : es la potencia de la emisión interferente en las frecuencias radioeléctricas en el ancho de banda de referencia a la salida de la antena receptora.

P_{tr} : es la potencia de ruido térmico en el sistema de recepción después de la demodulación.

El factor W depende de las características de las señales útil e interferente. Para evitar la necesidad de considerar una amplia gama de características, se determinaron los valores máximos del factor W . Si la señal útil está modulada en frecuencia con índices de modulación eficaces superiores a la unidad, W no es mayor que 4 (dB); en estos casos se utilizará, para el factor W un valor igual a 4 (dB), independientemente de las características de la señal interferente.

Si la señal útil es digital, W es normalmente inferior o igual a 0 (dB) independientemente de las características de la señal interferente.

En los cuadros I y II se indican los valores para los citados parámetros.

CUADRO I

Características necesarias para determinar la distancia de coordinación para una estación terrena transmisora

Designación del servicio de radiocomunicación espacial		Operaciones espaciales	Fijo por satélite Móvil por satélite	Fijo por satélite	Investigación espacial	Fijo por satélite Móvil por satélite Meteorológico por satélite	Fijo por satélite (5)	Fijo por satélite	Fijo por satélite (5)	Fijo por satélite (5)	Fijo por satélite
Bandas de frecuencias (GHz)		1.4227 - 1.429	2.655 - 2.690	5.725 - 7.235	7.145 - 7.235	7.900 - 8.400	10.7 - 11.7	12.5 - 14.5	14.5 - 14.8	17.7 - 18.1	27 - 37.5
Tipo de señal moduladora de la estación terrenal (1)		A	A	A	A	A	A	A	A	N	N
Características y criterios de interferencia	po(%)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003
	n	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1
	po(%)	0.005	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.003	0.003
	J(dB)	16	9	16	16	16	16	16	16	0	0
	Mo(po)(dB)	17	17	17	17	17	17	17	17	30	30
	W (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Características de la estación terrenal	B (Hz)	4x10 ³	4x10 ³	4x10 ³	4 x10 ³	4x10 ³	4x10 ³	4x10 ³	4x10 ³	1x10 ³	1x10 ³
	Gr (dB) (2)	35	32 (3)	45	47	47	50	50	50	50	50
	ΔG(dB)	-7	10 (3)	3	5	5	8	8	8	8	8
	Tr (K)	750	500 (3)	750	750	750	1500	1500	1500	3200	3200
Características auxiliares	S(dBW) (4)	166	192	176	178	178	178	178	178	154	154
	Pr(p) (dBW) en B	-131	-140	-131	-131	-131	-128	-128	-128	-104	-104

(1) A= Modulación analógica; N= Modulación digital

(2) Las pérdidas de la línea de alimentación no están incluidas.

(3) En estas bandas se han utilizado los parámetros de las estaciones terrenales correspondientes a los sistemas transhorizonte.

(4) S : factor de sensibilidad a las interferencias [$S = Gr - Pr(p)$].

(5) Los parámetros indicados en estas columnas se han establecido para el servicio fijo por satélite, pero podrán utilizarse para los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión, a título provisional, en espera del resultado de los futuros estudios del CCIR.

Características necesarias para

Designación del servicio de radiocomunicación espacial		Operaciones espaciales (1)			Investigación científica	
		Operaciones espaciales (1)	Meteorología por satélite (1)	Meteorología por satélite	Espacio cercano Vehículos no tripulados Operaciones espaciales	
Bandas de frecuencias		1.535 - 1.525	1.670 - 1.700	1.700 - 1.790	1.700 - 1.710 2.290 - 2.300	2.2 2.2
Tipo de la señal moduladora estación terrena (2)					-	
Características y criterios de interferencia	po(%)				0.1	0.0
	n				1 (9)	1
	po(%)				0.1 (9)	0.0
	J(dB)				-	
	Mo(po)(dB)				-	
	W (dB)				-	
Características de la estación terrenal	E (dBW) en B (8)	55	55	92 (6)	62 (4)(6)	62
	Pt (dBW) en B	13	13	40 (6)	10 (4)(6)	10
	ΔG (dB)	0	0	10 (6)	10 (6)	10
Anchura de banda de referencia (7)	B(Hz)			10 ⁶	1	
Potencia de interferencia admisible	Pr(p) (dBW) en B				-216	

CUADRO II

Características necesarias para determinar la distancia de coordinación para una estación terrena receptora

Designación del servicio de radiocomunicación espacial	Operaciones espaciales (1)			Investigación espacial			Fijo por satélite		Fijo por satélite		Fijo por satélite		Fijo por satélite Meteorología por satélite Móvil por satélite		Exploración de la Tierra por satélite (1)		Investigación espacial		Fijo por satélite		Meteorología por satélite		Fijo por satélite		Móvil por satélite			
	Operaciones espaciales (1)	Meteorología por satélite (1)	Meteorología por satélite	Espacio cercano Vehículos tripulados Operaciones espaciales	Espacio cercano Vehículos tripulados	Espacio lejano											Espacio cercano	Espacio lejano									Espacio cercano	Espacio lejano
Bandas de frecuencias	1.535 - 1.525	1.670 - 1.700	1.700 - 1.790	1.700 - 1.710 2.290 - 2.300	2.200 - 2.290	2.290 - 2.300	2.500 - 2690		3.400 - 4.200		4.500 - 4.800		7.250 - 7.750		8.025 - 8.400		8.400 - 8.500		10.7 - 12.75		17.7 - 40.0							
Tipo de la señal moduladora estación terrena (2)				-	-	-	A	N	A	N	A	N	A	N	-	-	-	A	N		N							
Características y criterios de interferencia	po(%)			0.1	0.001	0.001	0.03	0.003	0.03	0.003	0.03	0.003	0.03	0.003	1.0	0.1	0.001	0.03	0.003		0.003							
	n			1 (9)	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3		2	1	2	1		1							
	po(%)			0.1 (9)	0.001	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001		0.05	0.001	0.015	0.003		0.003							
	J(dB)			-	-	-	-8	0	-8	0	-8	0	-8	0		-	-	-8	0		0							
	Mo(po)(dB)			-	-	-	17	5	17	5 (3)	17	5 (3)	17	5 (3)		-	-	17	5 (3)		5 (3)							
W (dB)			-	-	-	4	0	4	0	4	0	4	0		-	-	4	0		0								
Características de la estación terrenal	E (dBW) en B (B)	55	55	92 (6)	62 (4)(6)	62 (4)(6)	92 (6)	92 (6)	55	55	92 (6)	92 (6)	55	55	55	25 (4)	25 (4)	55	55		35 (5)							
	Pr (dBW) en B	13	13	40 (6)	10 (4)(6)	10 (4)(6)	40 (6)	40 (6)	13	13	40 (6)	40 (6)	13	13	13	-17 (4)	-17 (4)	10	10		-10 (5)							
	ΔG(dB)	0	0	10 (6)	10 (6)	10 (6)	10 (6)	10 (6)	0	0	10 (6)	10 (6)	0	0	0	0	0	3	3		3							
Anchura de banda de referencia (7)	B(Hz)			10 ⁶	1	1	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	1	1	10 ⁶	10 ⁶		10 ⁶							
Potencia de interferencia admisible	Pr(p) (dBW) en B			-216	-216	-222	-	-	-	-	-	-	-	-	-154	-216	-220	-	-		-							

VER NOTAS

Notas (Cuadro II)

- (1) Las características relativas a estos servicios pueden variar sobre un margen bastante amplio. Son necesarios estudios complementarios para poder dar valores representativos.
- (2) "A" Modulación analógica; "N" Modulación digital.
- (3) $M_0(p_0)$ puede adquirir valores entre 5 y 40 dB, dependiendo de la frecuencia, de la zona hidrometeorológica y del diseño del sistema.
- (4) Estos valores se estiman para un ancho de banda de 1 MHz inferiores en 30 dB a la potencia total admitida para la emisión.
- (5) Estos valores suponen un ancho de banda de radiofrecuencia no inferior a 100 MHz, y son inferiores en 20 dB a la potencia total emitida para la emisión.
- (6) En estas bandas, se han utilizado las características de las estaciones terrenales asociadas con los sistemas transhorizonte. Si una administración estima que no es necesario considerar los sistemas transhorizonte, se pueden utilizar las características de los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa correspondiente a la banda de frecuencias 3400 - 4200 MHz para determinar la zona de coordinación.
- (7) En algunos sistemas del servicio fijo por satélite, y cuando sus características lo permitan, puede ser deseable seleccionar un valor superior para el ancho de banda de referencia B. Sin embargo, un valor superior del ancho de banda dará como resultado distancias de coordinación más reducidas, y una decisión posterior para reducir el ancho de banda de referencia pueden exigir una nueva coordinación de la estación terrena. Para las transmisiones en banda estrecha, el ancho de banda de referencia B debe suponerse igual al ancho de banda ocupada por la portadora deseada.
- (8) E es la potencia isotrópica radiada equivalente (dBW), de las estaciones terrenales interferentes.
- (9) n es igual para las estaciones terrenales que funcionan con satélites en órbita baja. Para las estaciones terrenales que funcionan con satélites geostacionarios, n es igual a 2 y p es igual a 0.05.

CUADRO III

Distancia máxima de coordinación para el modo de propagación (1) en km.

	Porcentaje de tiempo			
	$p = 0.001$	$p = 0.01$	$p = 0.1$	$p = 1$
Zona A	375	350	300	200
Zona B	1050	1000	900	700
Zona C	1400	1350	1200	950

CUADRO IV

Valores característicos de los parámetros correspondientes a las cinco zonas hidrometeorológicas (0.001 % del tiempo).

Parámetro	Zona hidrometeorológica					Unidad
	1	2	3	4	5	
Intensidad de la lluvia en la superficie (R)	75	55	37	26	14	mm/h
Diámetro de la célula de lluvia (D)	2.5	2.8	3	3	4.5	km
Densidad de vapor de agua (ρ_m)	10	5	2	2	2	g/m^3

CUADRO V

Máximas distancias de dispersión por la lluvia en km.

Zona hidrometeorológica	Porcentaje de tiempo		
	$0.001 < p < 0.01$	$0.01 < p < 0.1$	$p = 0.1$
1	540	470	390
2	470	390	330
3, 4 y 5	390	330	270

II.1.4 Ganancia de la antena de una estación terrena en la dirección del horizonte, en el caso de satélites geostacionarios.

II.1.4.1 Consideraciones generales.

La componente de la ganancia¹⁰ de la antena de una estación terrena en la dirección del horizonte físico alrededor de la estación es función del ángulo de separación φ entre el eje del haz principal y la dirección del horizonte considerada. Por consiguiente, es necesario conocer el ángulo φ para cada acimut¹¹.

Existe una relación unívoca entre el ángulo de elevación ϵ_s y el acimut α_s de los satélites geostacionarios vistos desde una estación terrena situada en la latitud ζ .

Es posible que no se conozcan de antemano las longitudes relativas exactas de los satélites; pero aún cuando se conocieran, la posibilidad de añadir un nuevo satélite o de desplazar uno existente indica que debe considerarse ocupada por satélites la totalidad o parte del arco correspondiente.

II.1.4.2 Método numérico para la determinación de $\varphi(\alpha)$

El cálculo de $\varphi(\alpha)$ comprende la utilización de las siguientes fórmulas:

$$\Psi' = \arccos[\cos(\zeta) \times \cos(\delta)]$$

$$\alpha'_s = \arccos[\operatorname{tg}(\zeta) \times \operatorname{cotg}(\Psi')]$$

¹⁰ **Ganancia** : Relación generalmente expresada en decibelios, que debe existir entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión para que ambas antenas produzcan en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma densidad de flujo de potencia, a la misma distancia. Salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación de la antena. Eventualmente puede tomarse la ganancia para una polarización especificada.

Según la antena de referencia elegida se distingue entre :

- a).- La ganancia isotrópica o absoluta (G_i) si la antena de referencia es una antena isotrópica aislada en el espacio.
- b).- La ganancia con relación a un dipolo de media onda (G_d) si la antena de referencia es un dipolo de media onda aislado en el espacio y cuyo plano ecuatorial contiene la dirección dada;
- c).- La ganancia con relación a una antena vertical corta (G_v) si la antena de referencia es un conductor rectilíneo mucho más corto que un cuarto de longitud de onda y perpendicular a la superficie de un plano perfectamente conductor que contiene la dirección dada.

¹¹ **Acimut** : Angulo medido sobre un plano horizontal, alrededor de un eje vertical a través del cual una antena podría ser girada, en dirección opuesta a la dirección trigonométrica, a partir del norte geográfico y hasta la intersección con un plano vertical que contiene la dirección del satélite. Este plano pasa a través del centro de la Tierra, la estación y el satélite. El ángulo acimut toma valores entre 0° y 360°.

- $\alpha_s = \alpha'_s + 180$ para estaciones terrenas situadas en el hemisferio norte y los satélites situados al oeste de la estación terrena.
 $\alpha_s = 180 - \alpha'_s$ para estaciones terrenas situadas en el hemisferio norte y los satélites situados al este de la estación terrena.
 $\alpha_s = 360 - \alpha'_s$ para estaciones terrenas situadas en el hemisferio sur y los satélites situados al oeste de la estación terrena.
 $\alpha_s = \alpha'_s$ para estaciones terrenas situadas en el hemisferio sur y los satélites situados al este de la estación terrena.

$$\epsilon_s = \arctg[(K - \cos(\Psi)) / \sin(\Psi)] - \Psi'$$

$$\varphi(\alpha) = \arccos[\cos(\epsilon) \times \cos(\epsilon_s) \times \cos(\alpha - \alpha_s) + \sin(\epsilon) \times \sin(\epsilon_s)]$$

donde:

- ζ : latitud de la estación terrena;
 δ : diferencia entre las longitudes del satélite y de la estación terrena;
 Ψ : arco de círculo máximo entre la estación terrena y el punto subsatelital;
 α_s : acimut del satélite visto desde la estación terrena;
 ϵ_s : ángulo de elevación del satélite visto desde la estación terrena;
 α : acimut de la dirección considerada;
 ϵ : ángulo de elevación del horizonte en el acimut α considerado;
 $\varphi(\alpha)$: ángulo entre el eje del haz principal y la dirección del horizonte correspondiente al acimut α considerado;
 K : relación radio de la órbita/radio de la Tierra, supuesta igual a 6.62

Todos los ángulos mencionados anteriormente se expresan en grados.

II.1.4.3 Determinación de la ganancia de la antena.

Puede utilizarse la relación $\varphi(\alpha)$ para obtener la ganancia de la antena en la dirección del horizonte G (dB) en función del acimut α mediante el diagrama de radiación efectivo de la antena de la estación terrena (diagrama de directividad de una antena) o mediante una fórmula que de suficiente aproximación. En los casos en que la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea superior a 100 conviene emplear la fórmula:

$G(\varphi) = G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} [(D/\lambda) \times \varphi]^2$	para $0 < \varphi < \varphi_m$
$G(\varphi) = G_1$	para $\varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$
$G(\varphi) = 32 - 25 \log(\varphi)$	para $\varphi_r \leq \varphi < 48^\circ$
$G(\varphi) = -10$	para $48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$

siendo:

$$\begin{aligned} D &: \text{ diámetro de la antena} \\ \lambda &: \text{ longitud de onda} \\ G_1 &: \text{ ganancia del primer lóbulo lateral} = 2 + 15 \log(D/\lambda) \\ \varphi_m &= (20 \lambda / D) (G_{\max} - G_1)^{1/2} \quad (\text{grados}) \\ \varphi_r &= 15.85 (D/\lambda)^{0.6} \quad (\text{grados}) \end{aligned}$$

En el caso de antenas con D/λ inferior a 100, cuando no sea posible utilizar el diagrama de antena de referencia indicado, ni puedan utilizarse a cambio los datos medidos o una recomendación pertinente del CCIR aceptada por las administraciones interesadas, se podrá emplear el diagrama de referencia que se define a continuación:

$$\begin{aligned} G(\varphi) &= G_{\max} - 2.5 \times 10^3 [(D/\lambda) \times \varphi]^2 & \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \\ G(\varphi) &= G_1 & \text{para } \varphi_m \leq \varphi < 100(\lambda/D) \\ G(\varphi) &= 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log(\varphi) & \text{para } 100(\lambda/D) \leq \varphi < 48^\circ \\ G(\varphi) &= 10 - 10 \log(D/\lambda) & \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

siendo:

$$\begin{aligned} D &: \text{ diámetro de la antena} \\ \lambda &: \text{ longitud de onda} \\ G_1 &: \text{ ganancia del primer lóbulo lateral} = 2 + 15 \log(D/\lambda) \\ \varphi_m &= (20 \lambda / D) (G_{\max} - G_1)^{1/2} \quad (\text{grados}) \end{aligned}$$

Los diagramas descritos anteriormente podrán ser modificados en la forma conveniente para obtener una mejor representación del diagrama de la antena.

Si no se conoce D/λ , puede estimarse a partir de la expresión

$$20 \log(D/\lambda) = G_{\max} - 7.7$$

en la que G_{\max} es la ganancia del lóbulo principal de la antena en dB.

II.2 Determinación de la distancia de coordinación para el modo de propagación 1. Mecanismos de propagación a lo largo del círculo máximo.

Para calcular la interferencia es preciso considerar dos clases de trayectos. Todos los mecanismos de propagación distintos de la dispersión producida por partículas (reflexión, difracción y refracción) producen el gradiente de intensidad de campo más elevado en el plano del trayecto del círculo máximo entre el transmisor y el receptor. En estos casos, es necesario investigar los trayectos de círculo máximo.

II.2.1 Zonas radioclimáticas.

En el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación 1, se divide la superficie terrestre en tres zonas radioclimáticas básicas, denominadas zonas A, B y C. Estas zonas se definen del modo siguiente:

Zona A: Totalmente terrestre.

Zona B: Mares, océanos y grandes extensiones de agua interiores (como criterio de gran extensión de agua, la que cubre un círculo de 100 km de diámetro) en latitudes superiores a 23° 30' N o S, excepción hecha del Mar Negro y Mar Mediterráneo.

Zona C: Mares, océanos y grandes extensiones de agua interiores (como criterio de gran extensión de agua, la que cubre un círculo de 100 km de diámetro) en latitudes inferiores a 23° 30' N o S, más el Mar Negro y el Mar Mediterráneo.

II.2.2 Cálculo de las distancias de coordinación para trayectos comprendidos en una sola zona radioclimática.

II.2.2.1 Consideraciones generales.

A partir del valor de la pérdida básica de transmisión mínima admisible se deduce la distancia de coordinación en cada zona radioclimática empleando cualquiera de los dos métodos siguientes: el primero, es un método numérico que comprende varias ecuaciones matemáticas; el segundo, es un método gráfico en el cual se han convertido las ecuaciones del método numérico a una forma gráfica.

Cuando la distancia obtenida con los métodos anteriores se encuentra totalmente dentro de los límites de la zona radioclimática correspondiente a la estación terrena, constituye la distancia de coordinación real para el modo de propagación 1. Si la distancia en cuestión va más allá de los límites de una zona radioclimática, la distancia de coordinación total se obtiene según el método de trayectos mixtos.

II.2.2.2 Método numérico.

La pérdida básica de transmisión mínima admisible se relaciona con la distancia de coordinación mediante la siguiente expresión:

$$L_b(p) = A_0 + \beta d_1 + A_h$$

donde:

$$\begin{aligned} A_0 &= 120 + 20 \log(f) && \text{(dB);} \\ \beta &: \text{índice de atenuación} && \text{(dB/km);} \\ d_1 &: \text{distancia de coordinación para el modo de propagación l} && \text{(km);} \\ A_h &: \text{término de corrección debido al ángulo del horizonte} && \text{(dB);} \\ f &: \text{frecuencia} && \text{(GHz);} \end{aligned}$$

El valor de A_h se expresa por:

$$\begin{aligned} A_h &= 20 \log(1 + 4.5 f^{0.5} \epsilon) + f^{1/3} \epsilon && \text{para } \epsilon > 0^\circ \\ A_h &= 8\epsilon && \text{para } -0.5^\circ \leq \epsilon \leq 0^\circ \\ A_h &= -4 && \text{para } \epsilon \leq -0.5^\circ \end{aligned}$$

donde:

ϵ : ángulo del horizonte (grados). Por "ángulo del horizonte" se entiende el ángulo, visto desde el centro de la antena de la estación terrena, formado por un plano horizontal y un rayo que pase tangencialmente por el horizonte físico visible en la dirección considerada.

La distancia de coordinación d_1 , puede obtenerse a partir de la ecuación de la pérdida básica de transmisión mínima admisible definida anteriormente como sigue:

$$d_1 = [L_b(p) - A_0 - A_h] / \beta$$

El valor de β depende de la zona radioclimática y del porcentaje del tiempo p , y corresponde a la suma de tres componentes:

$$\beta = \beta_z + \beta_v + \beta_o$$

donde:

- β_z : índice de atenuación (dB/km) debido a todos los efectos, excluidos los gases atmosféricos;
- β_v : índice de atenuación (dB/km) debido al vapor de agua atmosférico;
- β_o : índice de atenuación (dB/km) debido al oxígeno.

El valor de β_r depende de la zona radioclimática, de la frecuencia y del porcentaje de tiempo como sigue:

Para la zona A

$$\beta_{rA} = 0.154 [1 + 3.05 \log(f)]^{0.4} [0.9028 + 0.0486 \log(p)]^2$$

para las zonas B y C

$$\beta_{rB} = \beta_{rC} = [0.272 + 0.047 \log(p)]^2$$

El valor de β_v (que puede despreciarse para frecuencias menores a 15 GHz) depende de la frecuencia y de la densidad del vapor de agua atmosférico, del modo siguiente:

$$\beta_v = 3.5 \times 10^{-4} \times \rho [((1 - 22.3 / f)^2 + 9 / f^2)^1 + (1 + 22.3 / f)^2] + 3 \times 10^{-6} \times \rho f^2$$

donde ρ es la densidad del vapor de agua (g/m^3), y depende de la zona radioclimática. Se utilizarán los siguientes valores:

$$\text{Zona A, } \rho = 1 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Zona B, } \rho = 2 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Zona C, } \rho = 5 \text{ g/m}^3$$

El valor de β_o depende de la frecuencia del modo siguiente:

$$\beta_o = 68 \times 10^{-4} \times f^2 [(60 - f)^2 + (60 + f)^2 + (f^2 + 0.36)^1]$$

Por consiguiente, la distancia de coordinación se determina en las Zonas A, B y C para la frecuencia, el porcentaje de tiempo y el ángulo de horizonte correspondientes, mediante las ecuaciones anteriores.

II.2.3 Cálculo de las distancias de coordinación para trayectos mixtos.

Cuando la distancia de coordinación a calcular se extiende a lo largo de más de una zona radioclimática (trayecto mixto) la predicción se efectúa como sigue:

Designando los sucesivos tramos de trayectos de diferentes zonas por medio de los sufijos i, j, k..., se deduce que:

$$L_d(p) - A_0 - A_n = \beta_i d_i$$

siendo β_i el índice de atenuación de la primera zona (i).

Ahora bien, si en la dirección considerada, el valor de d , es mayor que la distancia D_1 de la primera zona (i), se puede escribir:

$$L_n(p) - A_0 - A_h - \beta_1 D_1 = \beta_1 d_j$$

de donde se obtiene d_j . Si el valor de d_j es mayor que la distancia D_j del trayecto de la segunda zona (j), puede establecerse que:

$$L_n(p) - A_0 - A_h - \beta_1 D_1 - \beta_j D_j = \beta_k d_k$$

de donde puede obtenerse d_k . Este método puede prolongarse cuanto sea necesario, y en el caso considerado la distancia total d_1 puede expresarse ahora como:

$$d_1 = D_1 + D_j + d_k \quad (\text{km})$$

II.2.4 Distancia máxima de coordinación para el modo de propagación 1.

Si en el proceso de determinación de la distancia de coordinación para el modo de propagación 1 se obtienen resultados que exceden el valor apropiado indicado en el cuadro III, la distancia de coordinación para el modo de propagación 1 será el valor indicado en el cuadro III. En el caso de trayectos mixtos, los valores que han de tomarse en consideración son los indicados para las zonas B o C según proceda. En el caso de trayectos mixtos con más de un segmento en la zona A no ha de superar el valor indicado en el cuadro III para esta zona.

II.3 Determinación del contorno de coordinación para el modo de propagación 2. - Dispersión debida a hidrometeoros.

El contorno de coordinación, cuando interviene el fenómeno de dispersión debida a los hidrometeoros (lluvia), se determina por medio de un trayecto fundamental diferente del correspondiente a la propagación a lo largo del círculo máximo. Como primera aproximación, la lluvia dispersa isotrópicamente la energía, de modo que puede producirse interferencia en caso de grandes ángulos de dispersión y de intersecciones de haces alejados del trayecto de círculo máximo.

II.3.1 Pérdida de transmisión normalizada $L_2(0.01)$.

Para determinar el contorno de coordinación en el caso de dispersión por lluvia, es necesario calcular la "pérdida de transmisión normalizada" aplicando la fórmula siguiente.

$$L_2(0.01) = P_t' + \Delta G - P_r(p) - F(p,f)$$

donde:

ΔG : diferencia en (dB) entre la ganancia máxima de las antenas de las estaciones terrenales que operan en la banda de frecuencias considerada y el valor de 42 dB. Cuando la estación terrena es una estación transmisora, los valores de ΔG figuran en el cuadro I; cuando se trate de una estación receptora deberán emplearse los valores de ΔG indicados en el cuadro II.

$F(p,f)$: término de corrección (dB) para pasar el porcentaje de 0.01% al porcentaje efectivo de tiempo p en la banda de frecuencias considerada (Figura 2.3).

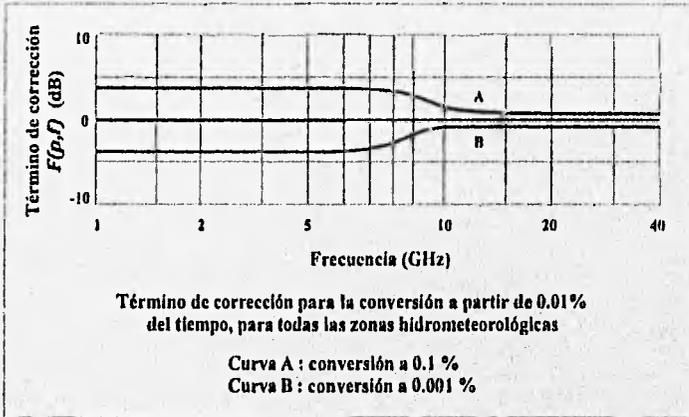


Figura 2.3

En los puntos II.1.1 y II.1.3 se han definido los demás parámetros. En el cuadro II se indican los valores de P_t' , para las estaciones terrenales.

H.3.2 Zonas hidrometeorológicas.

Se ha dividido la superficie terrestre en cinco zonas hidrometeorológicas básicas, enumeradas de 1 a 5 como se ilustra la Figura 2.4. En el cuadro IV se indican las características climáticas de estas zonas para el 0.01% del tiempo.

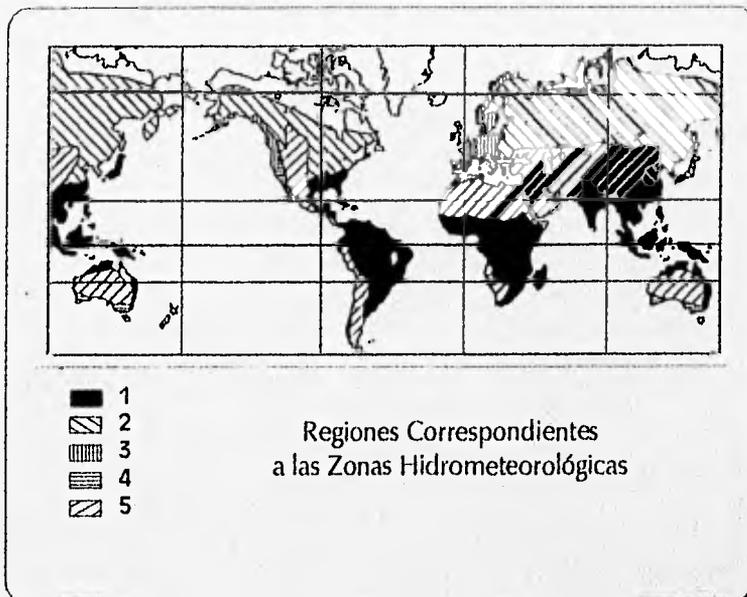


Figura 2.4

II.3.3 Cálculo de la distancia de dispersión por lluvia (d_r).

II.3.3.1 Método numérico.

La pérdida de transmisión normalizada tiene seis componentes:

$$L_2(0.01) = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 - A_5 + A_6$$

donde:

$$A_1 = 157 + 20 \log(d_r) - 20 \log(f) \quad (\text{dB})$$

siendo d_r la distancia de dispersión por lluvia (km)

$$A_2 = 26 + 14 \log(R) - 5.88 \times 10^{-5} (d_r - 40)^2 \quad (\text{dB})$$

R es la intensidad de lluvia en la superficie terrestre en mm/h (cuadro IV). Se considera que la distancia hasta el horizonte de la estación terrenal es de 40 km.

$$A_3 = 0.005 (f - 10)^{1.7} R^{0.4} \quad (\text{dB}) \quad \text{para } 10 < f < 40 \text{ GHz}$$

$$= 0 \quad (\text{dB}) \quad \text{para } f \leq 10 \text{ GHz}$$

$$A_4 = 10 \log [(2.17 / \gamma D) (1 - 10^{-(\gamma D / 5)})] \quad (\text{dB}) \quad \text{para } f > 5 \text{ GHz}$$

$$= 0 \quad (\text{dB}) \quad \text{para } f \leq 5 \text{ GHz}$$

siendo D el diámetro, en km, de la célula de lluvia (cuadro IV)

y

$$\gamma = 0.008 R (f - 5) \quad \text{para } f > 5 \text{ GHz}$$

$$= 0 \quad \text{para } f \leq 5 \text{ GHz}$$

$$A_5 = 10 \log (D) \quad (\text{dB})$$

$$A_6 = d_0 \beta_0 + d_v \beta_v \quad (\text{dB})$$

siendo:

$$d_s = 0.7d_r + 32 \text{ km} \quad \text{para } d_r < 340 \text{ km}$$

$$= 270 \text{ km} \quad \text{para } d_r \geq 340 \text{ km}$$

$$d_v = 0.7d_r + 32 \text{ km} \quad \text{para } d_r < 240 \text{ km}$$

$$= 200 \text{ km} \quad \text{para } d_r \geq 240 \text{ km}$$

siendo:

$$\beta_v = 3.5 \times 10^{-4} \times \rho [((1 - 22.3/f)^2 + 9/f^2)^{1/2} + (1 + 22.3/f)^2] + 3 \times 10^{-6} \rho f^2$$

donde ρ ha de sustituirse por ρ_m (cuadro IV)

$$\beta_0 = 68 \times 10^{-4} \times f^2 [(60 - f)^2 + (60 + f)^2 + (f^2 + 0.36)^{-1}]$$

Por tanto, para una zona hidrometeorológica determinada, se utilizan los parámetros del cuadro IV para calcular la distancia de dispersión por la lluvia d_r , mediante un proceso iterativo.

II.3.4 Distancias máximas de dispersión por lluvia.

Si al determinar la distancia de dispersión por lluvia para el modo de propagación 2, se obtienen valores que exceden del valor adecuado que se ha dado en el cuadro V, la distancia de dispersión por lluvia para el modo de propagación 2 será el valor indicado en dicho cuadro.

II.3.5 Trazado del contorno de coordinación en caso de dispersión por lluvia.

Debido a la peculiar configuración propia de la propagación por dispersión por lluvia, la ubicación del centro del contorno de coordinación trazado en el caso de dispersión por lluvia no coincide con la ubicación de la estación terrena; la distancia que separa ambas ubicaciones se designa Δd .

La distancia de dispersión por lluvia d_r , así como el ángulo de elevación ϵ_s del haz principal de la antena de la estación terrena, se utilizan para determinar Δd por medio de la ecuación:

$$\Delta d = 5.88 \times 10^{-5} (d_r - 40)^2 \cotg(\epsilon_s) \quad (\text{km})$$

La distancia Δd se mide en un mapa de escala adecuada desde la ubicación de la estación terrena a lo largo del acimut del haz principal de su antena, y se traza un círculo de radio d_r que tenga por centro el punto así obtenido. Este círculo es el contorno de coordinación en el caso de dispersión por lluvia.

La distancia de coordinación en el caso de dispersión por lluvia, que se designa por d_c , es la distancia desde la estación terrena al contorno de coordinación en el acimut considerado.

II.3.6 Ausencia de efectos de trayectos mixtos.

Ya que el efecto más importante de la dispersión causada por la lluvia es el que se produce en la región de la estación terrena no se plantea la cuestión de trayecto mixto. Se considerará pues la zona hidrometeorológica correspondiente a la estación terrena, junto con la apropiada distancia máxima de dispersión por lluvia del cuadro V.

II.4 Valor mínimo de la distancia de coordinación.

Si el método para la determinación de d_1 , distancia de coordinación para el modo de propagación 1, conduce a un resultado menor que 100 km, se considerará d_1 igual a 100 km. De manera similar, si el método para la determinación de d_r , distancia de dispersión por lluvia, conduce a un resultado menor que 100 km, se tomará d_r igual a 100 km.

II.5 Distancia de coordinación.

En cualquier acimut, se empleará la mayor de las distancias de coordinación d_1 o d_2 , para el procedimiento de coordinación.

CAPITULO III



CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROGRAMA.

En este capítulo se explicarán de manera detallada las características y la forma de utilizar el programa AP28.

III.1 Programa AP28.

Este programa fue creado con la finalidad de proporcionar una herramienta informática que nos brinde ayuda en la aplicación de la metodología del Apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la U.I.T. para la determinación de la zona de coordinación alrededor de una estación terrena. En él se realiza el cálculo del nivel admisible de la emisión interferente, ángulos de horizonte, ganancia de la antena en cada acimut, la pérdida básica de transmisión mínima admisible, pérdida de transmisión normalizada y la aplicación de los métodos numéricos para la determinación de las distancias de coordinación para el modo de propagación a lo largo del círculo máximo (modo 1) y para el modo de dispersión debida a hidrometeoros (modo 2).

El programa fue diseñado en lenguaje de alto nivel TURBO PASCAL versión 6.0 y utilizando la técnica de programación estructurada; por medio de ésta, el programa se divide en módulos (procedimientos y funciones), cada uno de los cuales realiza una tarea o actividad específica, la ejecución se lleva a cabo por medio de un programa principal, posee un diseño descendente y utiliza estructuras básicas de control. Las funciones de los procedimientos se describirán posteriormente de manera breve.

El programa está estructurado de manera que permite al usuario ingresar únicamente los datos característicos de los sistemas terreno y terrenal en las unidades correspondientes haciendo transparentes algunos procesos de obtención de datos que se encuentran en cuadros y gráficas del Apéndice 28 (capítulo II) y que se han almacenado en archivos externos al programa.

Los datos que el usuario debe ingresar son:

- Tipo de estación terrena: Transmisora o Receptora.
- Temperatura de ruido del sistema receptor.
- Diámetro de la antena de la estación terrena.
- Potencia de transmisión de la estación terrenal.
- Tipo de modulación de la estación terrena o terrenal: Analógica o Digital.
- Frecuencia de operación.
- Latitud de la estación terrena.
- Longitud de la estación terrena.
- Longitud del satélite.

III.2 Estructura.

Las etapas fundamentales de las que está constituido el programa son:

- Obtención de datos (proporcionados por el usuario o determinados mediante algún proceso de lectura de archivos independientes del programa).
- Procesamiento de información (aplicación de los métodos numéricos para los cálculos correspondientes).
- Entrega de resultados (distancias y contornos de coordinación).

A continuación se muestran los diagramas que ilustran este proceso.

En el diagrama III.1 se muestra la estructura básica del programa, en los diagramas restantes se detalla cada una de las etapas.

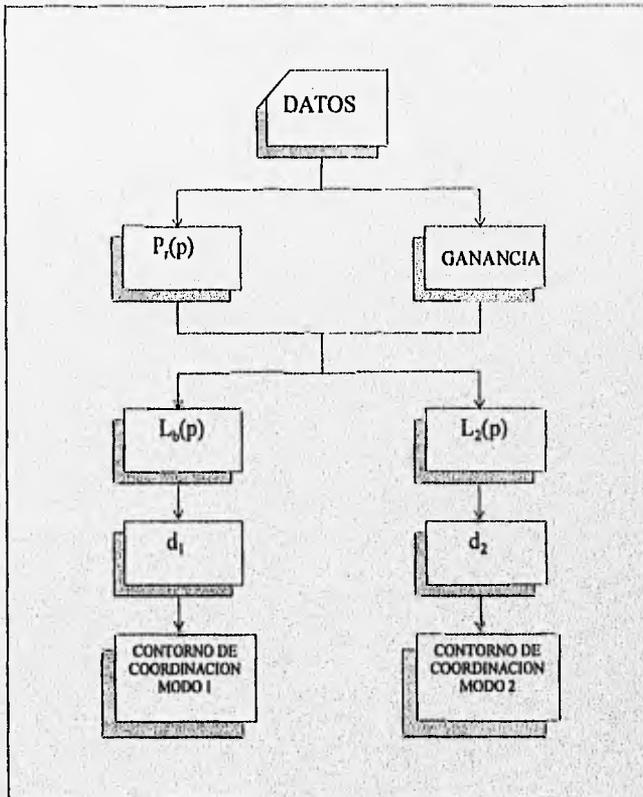


Diagrama III.1

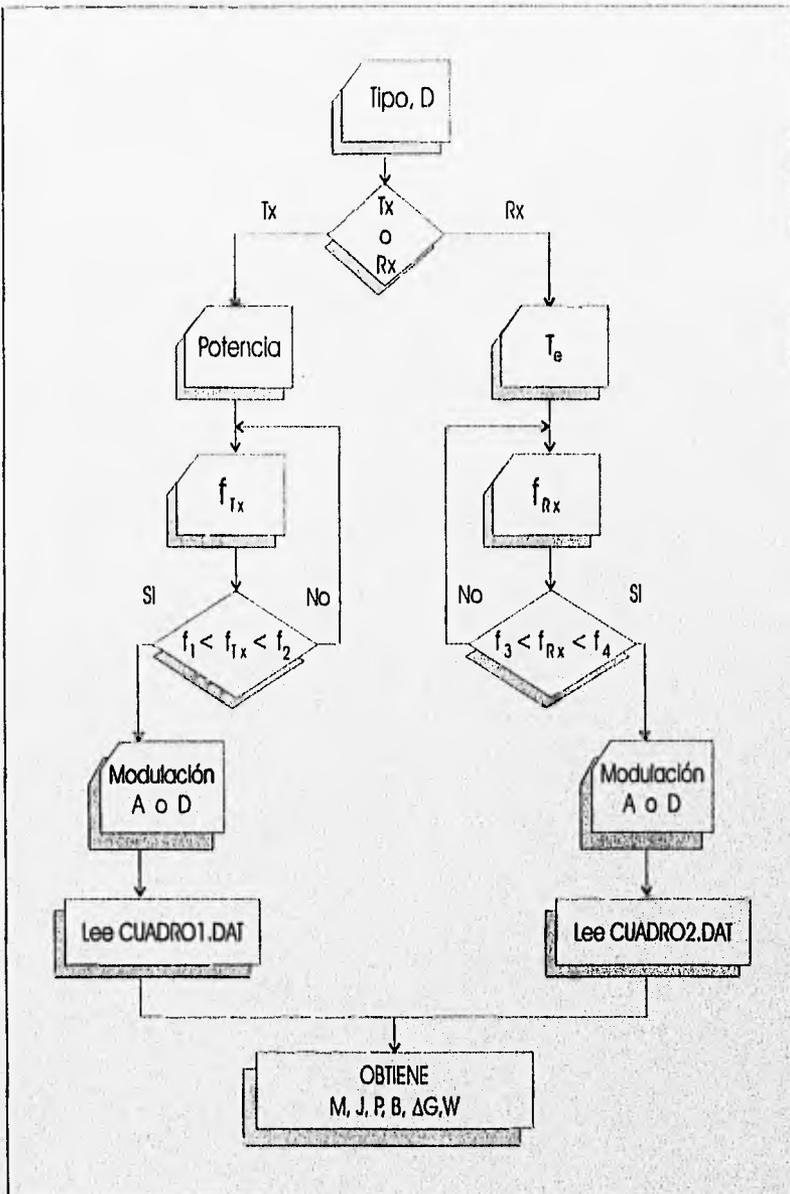


Diagrama III.2

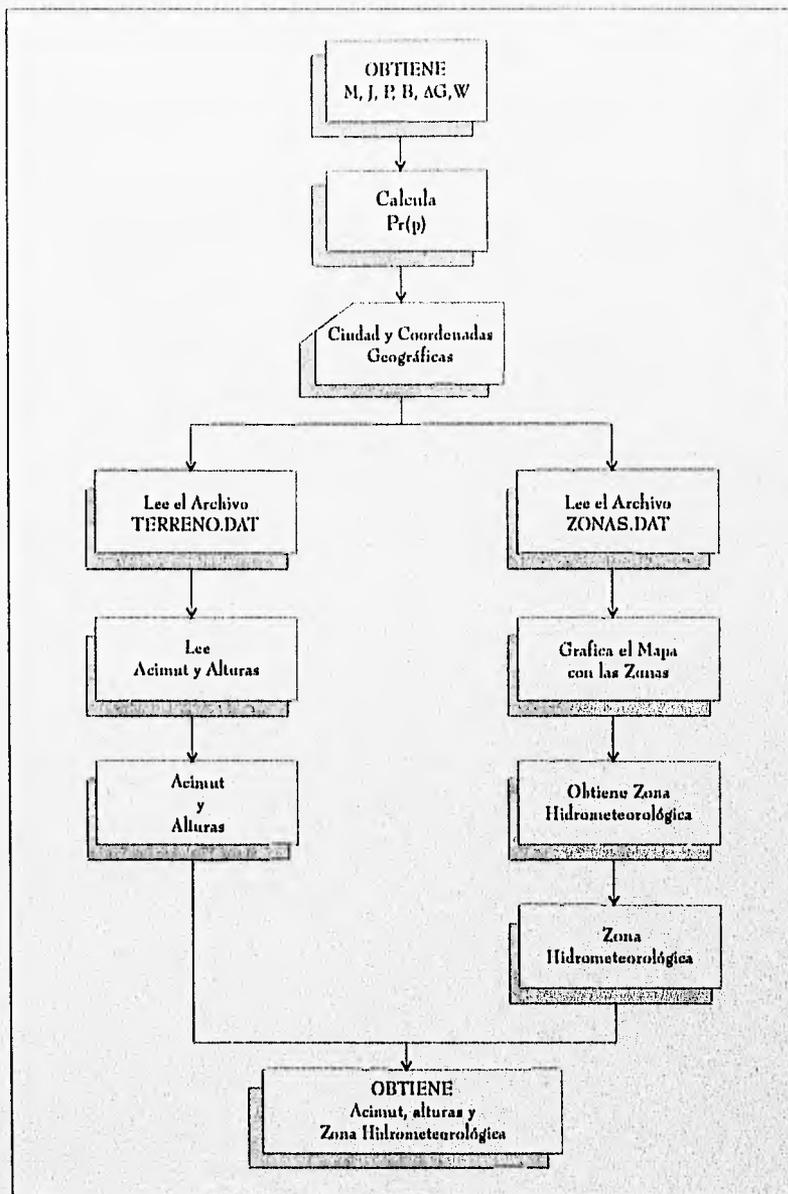


Diagrama III.3

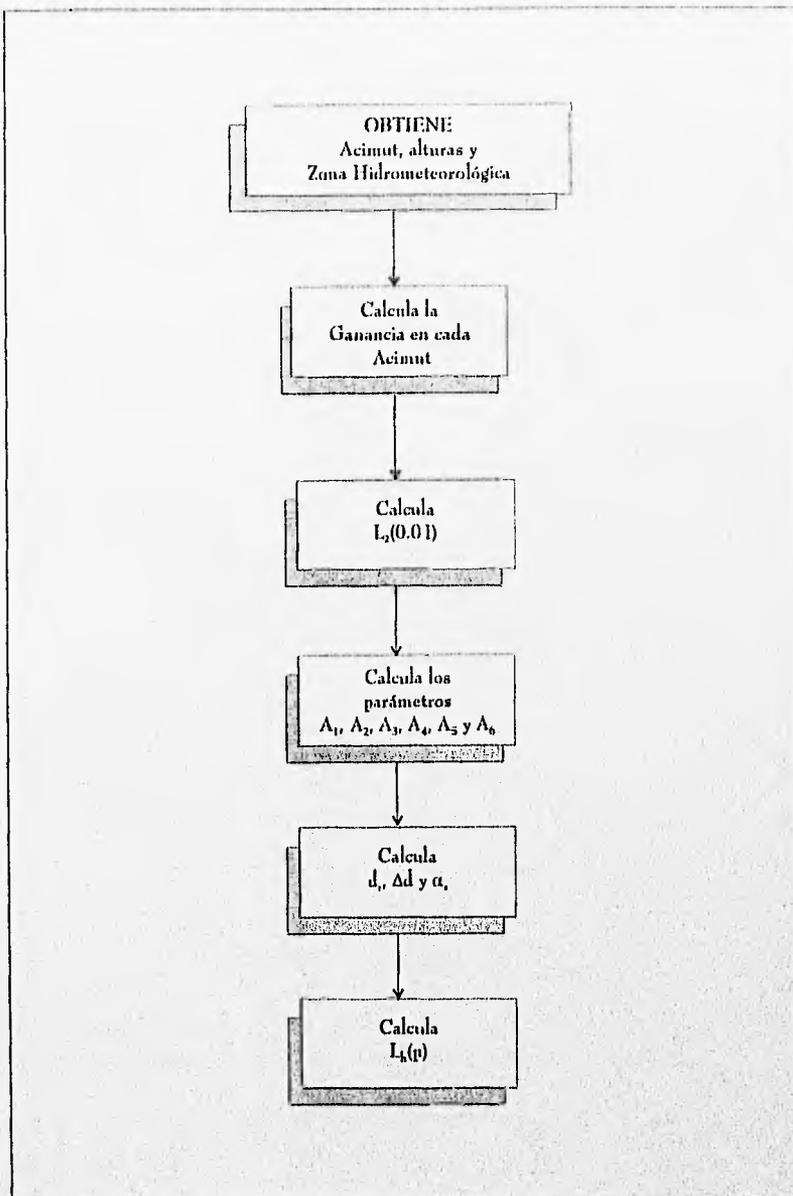


Diagrama III.4

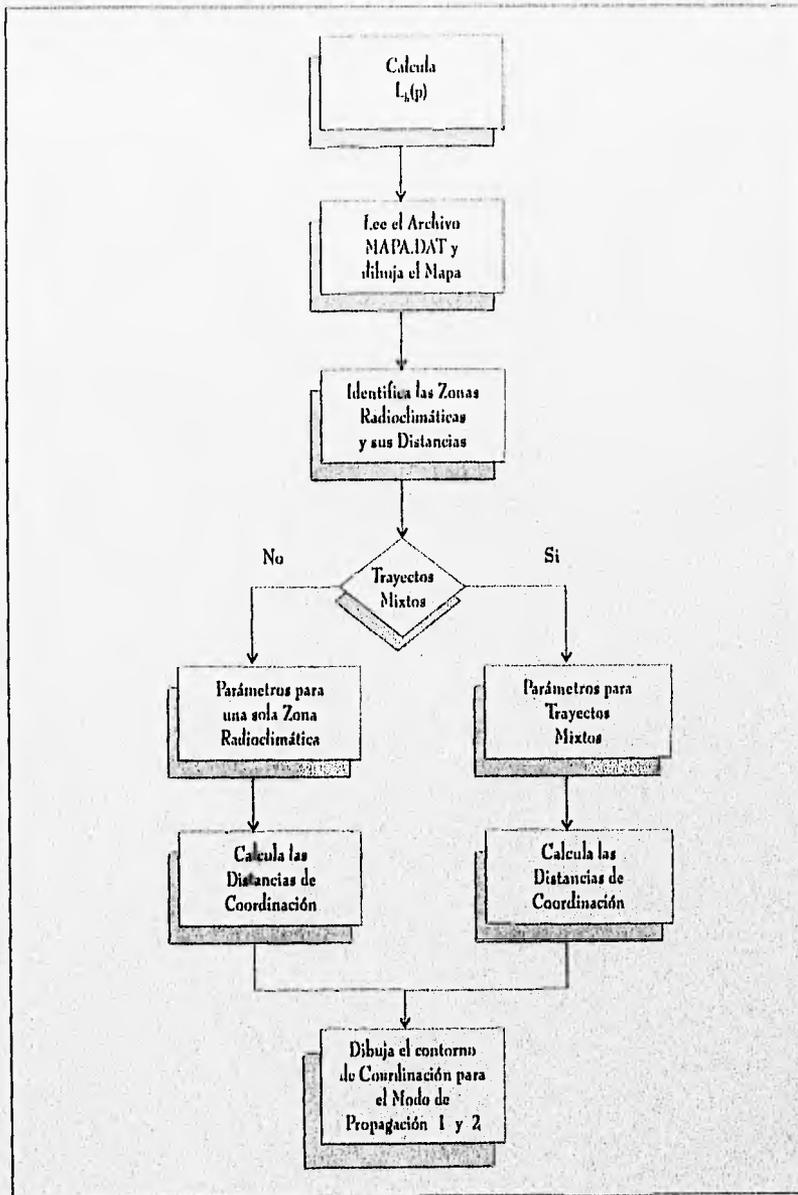


Diagrama III.5

III.3 Archivos de datos.

Para su ejecución el programa hace uso de los siguientes archivos de datos:

- CUADRO1.DAT
- CUADRO2.DAT
- TERRENO.DAT
- MAPA.DAT
- ZONAS.DAT

CUADRO1.DAT y CUADRO2.DAT contienen las características necesarias para el cálculo del nivel admisible de la emisión interferente para una estación transmisora y receptora respectivamente, los datos de estos archivos se encuentran en los cuadros I y II del capítulo II.

El archivo TERRENO.DAT contiene los perfiles topográficos del lugar en el cual se pretende instalar la estación terrena, en este trabajo sólo se han incluido las ciudades de Tijuana y Ciudad Juárez; estos datos son indispensables para el cálculo de los ángulos de horizonte y posteriormente la ganancia de la antena, algunos ejemplos de los perfiles mencionados se encuentra en el Apéndice B.

Para la generación de resultados fue necesario graficar el continente Americano, con este propósito se tomaron parejas de puntos en (x , y) sobre los contornos de los países que lo integran en un mapa a escala apropiada, estas muestras se organizaron para cada uno de ellos en el archivo MAPA.DAT con objeto de poder adaptarlas a las características específicas de resolución del monitor y al grado de acercamiento (zoom) que se deseaba tener de la imagen. Por lo que respecta a islas, se incluyeron únicamente las grandes Antillas y los lagos de dimensiones significativas.

Con referencia al archivo ZONAS.DAT, éste contiene los datos relacionados al trazo de las regiones correspondientes a las cinco zonas hidrometeorológicas contempladas en el Apéndice 28 y cuyos parámetros permiten el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación por hidrometeoros.

III.4 Obtención de parámetros y resultados.

III.4.1 Cálculo del nivel admisible de la emisión interferente [P,(p)].

El cálculo de este parámetro involucra los siguientes procedimientos:

- *INICIALIZARVAR*
- *CIUDADES_1*
- *DATI*
- *PRPFIN* { *PRPAL*

Las funciones de cada uno de estos procedimientos se describen a continuación de manera breve.

Procedimiento INICIALIZARVAR.

Inicializa en cero las principales variables involucradas en la aplicación del método.

Procedimiento CIUDADES_1.

Este procedimiento lee el archivo *TERRENO.DAT* y despliega los nombres y ubicaciones geográficas de las ciudades disponibles, asignándoles un número (clave) con el cual es posible seleccionar aquella con la que se desee realizar el cálculo.

Procedimiento DATI.

Todos los datos necesarios en el cálculo de las distancias de coordinación y que se mencionaron con anterioridad son solicitados durante este procedimiento que a su vez, hace uso de otros subprogramas implementados con el propósito de evitar posibles errores al momento de ingresar los datos. Todos ellos tienen como función prevenir que los valores que tomen las variables se encuentren sólo en los rangos permitidos por el programa.

Procedimientos PRPFIN Y PRPAL.

El siguiente paso es obtener la información contenida en los archivos *CUADRO1.DAT* o *CUADRO2.DAT* a través del procedimiento *PRPFIN*, que se encarga de asignar el acceso a alguno de ellos dependiendo de los datos específicos de los sistemas involucrados en el análisis y que se mencionaron con anterioridad; posteriormente el control se transfiere al procedimiento *PRPAL*, el cual lee el archivo y asigna los valores ahí obtenidos a las variables involucradas en el cálculo del nivel admisible de la emisión interferente, éste se realiza dentro del mismo procedimiento y es el primer parámetro necesario en la determinación de las distancias de coordinación.

III.4.2 Cálculo de la ganancia de la antena de la estación terrena en todos los acimutes.

Para poder obtener la ganancia de la antena de la estación terrena se utilizan los siguientes procedimientos:

- *ESCDATOS*
- *FI*
- *FIIALFA*
- *GANANCIAA*

Procedimiento ESCDATOS.

Se encarga de leer los datos del archivo TERRENO.DAT y de calcular el ángulo de horizonte máximo para cada uno de los acimutes alrededor de la estación terrena.

Procedimiento FI.

Antes de la determinación de la ganancia de la antena de la estación terrena se requieren conocer otros factores, de los cuales el procedimiento FI se encarga de obtener: el arco de círculo máximo entre la estación terrena y el punto subsatelital (θ') y el acimut de satélite visto desde la estación terrena (α_s).

Procedimiento FIIALFA.

Este procedimiento realiza el cálculo del ángulo de elevación del satélite visto desde la estación terrena (ϵ_s) y el ángulo entre el eje del haz principal y la dirección del horizonte correspondiente al acimut considerado [$\varphi(\alpha)$], el cual es determinante en el proceso para obtener el valor de la ganancia, ya que como se mencionó en el capítulo II, ésta es función del ángulo $\varphi(\alpha)$.

Procedimiento GANANCIAA.

Con todos los datos necesarios para obtener la componente de la ganancia de la antena en la dirección acimutal correspondiente, se procede a la aplicación del método numérico para determinarla, a través del procedimiento GANANCIAA, el cual toma en cuenta todas las consideraciones mencionadas en el Anexo II del Apéndice 28.

III.4.3 Cálculo de la pérdida de transmisión normalizada y distancias de coordinación para el modo de propagación 2.

Debido a que el cálculo de las distancias de coordinación para el modo de propagación 2 es más sencillo que para el modo 1 se lleva a cabo previamente mediante tres procedimientos.

- *MODOGRAFICO*
- *ZONHIDRO*
- *DISTANCIA2*

Procedimiento MODOGRAFICO.

Este procedimiento inicializa la pantalla al modo gráfico de trabajo, debido a que todos los datos anteriores se manejan en modo texto.

Procedimiento ZONHIDRO.

Se encarga de leer los archivos MAPA.DAT y ZONAS.DAT, traza en pantalla la región del mapa de América en la cual se piensa realizar el análisis, mostrando las cinco zonas hidrometeorológicas contempladas en la figura 2.4 del capítulo II por medio de colores distintos. Con las coordenadas geográficas de la estación se obtiene la zona hidrometeorológica en la cual se encuentra, se le asigna un identificador y se guarda en una variable que posteriormente se utilizará en la obtención de los parámetros característicos de cada zona.

Procedimiento DISTANCIA2.

Obtiene los parámetros de la zona hidrometeorológica en la cual se encuentra la estación, calcula la pérdida de transmisión normalizada y aplica el método numérico para determinar la distancia de coordinación para el modo de propagación por hidrometeoros, todos los resultados obtenidos quedan guardados en variables para su posterior graficación.

III.4.4 Cálculo de las distancias de coordinación para el modo de propagación 1 y gráficas de los contornos de coordinación para ambos modos de propagación.

Una vez calculadas las distancias para el modo de propagación 2, se procede a obtener las distancias para el modo 1 y las gráficas de los contornos de coordinación respectivos, para tal efecto se utilizan los siguientes procedimientos:

- MAPACOLOR
- INIVAR
- AZIMUTCONDIST
- EJES
- DISTANCIA { BETAZA, BETAZB, COMUN
- DIBUJARDIST

Procedimiento MAPACOLOR.

Este procedimiento lee los datos del archivo MAPA.DAT y grafica el mapa político de América, con el grado de acercamiento que se ha considerado necesario para evitar errores en las mediciones realizadas, este grado de acercamiento puede modificarse una vez obtenidos los resultados para su mejor visualización.

Procedimiento INIVAR.

Inicializa en cero los valores de las distancias para el modo 1 de propagación en cada uno de los acimutes.

Procedimiento AZIMUTCONDIST.

Este es uno de los procedimientos más importantes del programa ya que se encarga de tomar del mapa graficado en pantalla las distancias para cada una de las zonas radioclimáticas en cada acimut, involucrando datos y fórmulas relacionadas a la geometría terrestre, con estos resultados es posible determinar si se aplicará el proceso de obtención del contorno de coordinación para el modo de propagación 1 por trayectos mixtos o en una sola zona radioclimática.

Procedimiento EJES.

Tiene como función trazar los paralelos y meridianos en intervalos de cinco grados, esto con objeto de tener una referencia en el mapa graficado, traza además la línea correspondiente al Trópico de Cáncer, la cual delimita las zonas radioclimáticas B y C.

Procedimiento DISTANCIA.

Calcula inicialmente la pérdida básica de transmisión y posteriormente aplica el método numérico que la relaciona con la distancia de coordinación para el modo 1, el procedimiento se auxilia a su vez de otros más (BETAZA, BETAZB, COMÚN), que le permiten determinar los parámetros utilizados en el método y que dependen de la frecuencia, ángulo de elevación, zona radioclimática y porcentaje de tiempo. El procedimiento es general e incluye la posibilidad de cálculo en trayectos mixtos así como las restricciones respecto a distancias de coordinación máximas y mínimas contempladas en el cuadro III del Capítulo 2. Los resultados obtenidos para cada acimut se guardan en un arreglo para su posterior graficación.

Procedimiento DIBUJARDIST.

Una vez calculadas las distancias de coordinación para ambos modos de propagación se procede a su graficación sobre el mapa trazado con anterioridad, este procedimiento utiliza algunas ecuaciones sencillas relacionadas con la geometría terrestre para ubicar correctamente las distancias en cada acimut y traza el contorno de coordinación uniendo todos los puntos obtenidos.

III.4.5 Presentación de resultados.

Los resultados obtenidos por el programa AP28 son: los contornos de coordinación para ambos modos de propagación sobre un mapa digitalizado y las tablas de las distancias en cada zona radioclimática, ángulos de elevación y distancias de coordinación en cada acimut. Por lo que respecta al contorno de coordinación el programa tiene la posibilidad de realizar acercamientos o alejamientos (zoom) de la imagen según se desee, además, una vez seleccionado el tamaño ideal es posible realizar una impresión, para esto se utiliza el procedimiento MAPABYN el cual adecúa la imagen para una mejor presentación impresa y posteriormente mediante un comando ejecuta la acción de imprimir. Por lo que toca a las tablas de resultados éstas también se pueden obtener en pantalla y en modo impreso aunque existe la restricción de poder imprimir estos resultados sólo en algunas impresoras (SEIKOSHA SP-2400, EPSON Stylus 820, HP 4P, IBM PS1). Los procedimientos utilizados en la presentación de tablas en pantalla son: IMPAZIANGZON, CIERRAMODOGRAFICO, IMPRIMIRRESULTADOS. Los procedimientos para imprimir los mismos son: PRNIMPRIMIRRESULTADOS, PRNIMPZIANGZON.

III.5 Manera de utilizar el programa AP28.

III.5.1 Programa principal.

Para iniciar el programa basta con teclear AP28¹ y dar ENTER, inmediatamente en la pantalla se presenta el menú principal de la siguiente manera:

```
PROGRAMA AP28
MENU PRINCIPAL

Opciones

Editor Apéndice 28
Programa Principal
Terminar el Programa
```

Si se selecciona la opción Programa principal se listarán las ciudades disponibles para realizar el cálculo, tal como se muestran a continuación:

```
CIUDADES DISPONIBLES

CIUDAD          CLAVE
CIUDAD JUAREZ 106W2915 31N4419 ..... 1
TIJUANA 116W5857 32N2518 ..... 2

Ingresa la Clave de la Ciudad : 2
```

¹ AP28: Si usted desea imprimir los resultados en alguna impresora laser no especificada para este programa (ver III.4.5) es necesario modificar la línea de *Graphics* en el programa AP28.BAT, auxiliándose con las opciones que soporta el comando *Graphics* de su Sistema Operativo MS-DOS (ver ayuda del sistema); por ejemplo, para una impresora HP Laser Jet 4 la sintaxis sería: *Graphics Laserjet!!*. El programa AP28.BAT se puede editar y modificar en cualquier editor de texto.

Posteriormente se piden los datos necesarios para la aplicación del método, según se muestra en la siguiente figura:

INGRESE LOS DATOS QUE SE PIDEN
TIJUANA 116W5857 32N2518

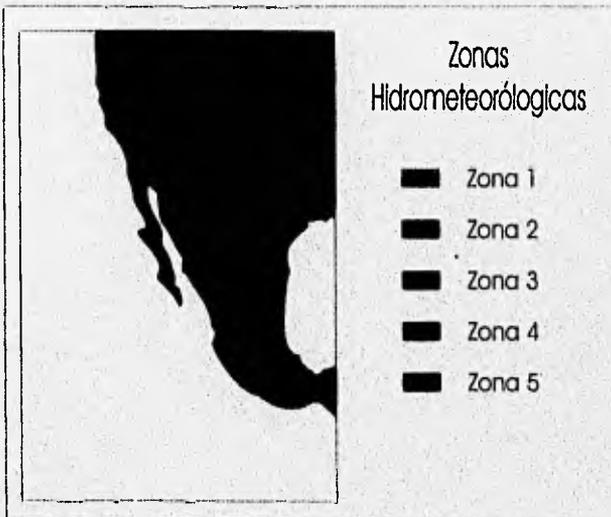
Tipo de estación terrena Tx ó Rx : Rx
Temperatura de ruido del sistema receptor : 70.0 [K]
Diámetro de la antena en metros : 11.0

Tipo de modulación de estación terrena : [A] analógica [N] digital A
Frecuencia de operación en GHz : 4.00

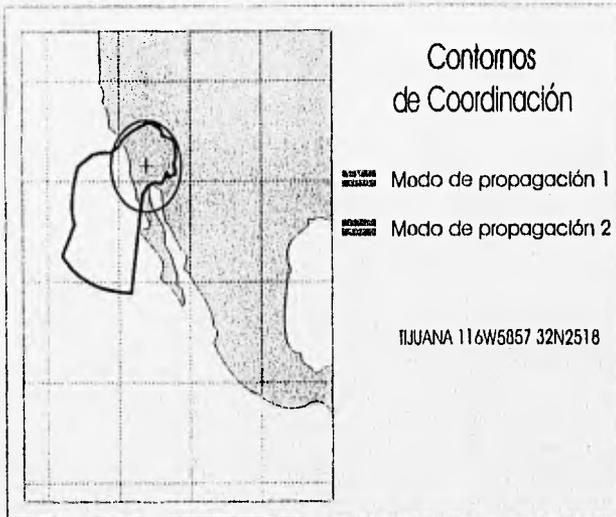
Latitud estación terrena : 32° 25' 18" N 32° 25' 18" N
Longitud estación terrena : 116° 58' 57" W 116° 58' 57" W
Longitud del satélite : 116° 30' 0" W 116° 30' 00" W

Una vez ingresados, se pregunta al usuario si éstos son correctos para continuar con el cálculo, en caso contrario se elige la opción correspondiente para su modificación.

Para obtener la zona hidrometeorológica en la cual se encuentra ubicada la estación, se dibuja un mapa que las contiene y el cual se presenta del modo siguiente:



Una vez realizados los cálculos de las distancias de coordinación se dibuja el mapa digitalizado de América, se localiza el lugar de instalación y finalmente se trazan los contornos de coordinación.



Las tablas de resultados de las principales variables calculadas se despliegan tal como se muestra a continuación:

TIJUANA 116W5857 32N2518

DISTANCIAS DE COORDINACION PARA EL MODO DE PROPAGACION 1

ACIMUT grados	DISTANCIA km	ACIMUT grados	DISTANCIA km	ACIMUT grados	DISTANCIA km
0	292.73	120	206.99	240	1000.00
10	274.79	130	237.25	250	1000.00
20	283.22	140	229.00	260	1000.00
30	223.91	150	208.53	270	1000.00
40	222.54	160	245.41	280	862.64
50	237.90	170	1350.00	290	729.08
60	237.72	180	1350.00	300	708.46
70	247.09	190	1350.00	310	437.85
80	243.51	200	1350.00	320	334.56
90	224.12	210	1350.00	330	301.21
100	269.81	220	1350.00	340	301.21
110	219.79	230	1000.00	350	341.00

DISTANCIAS DE COORDINACION PARA EL MODO DE PROPAGACION 2

DISTANCIAS KM	DESPLAZAMIENTO km	ANGULO grados
330.00	3.826	179

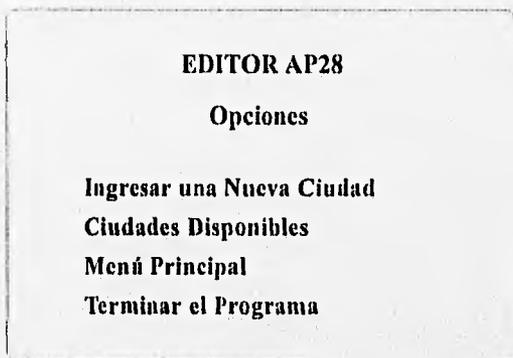
TIJUANA 116W5857 32N3518

ANGULO DE HORIZONTE Y ZONAS RADIOCLIMATICAS

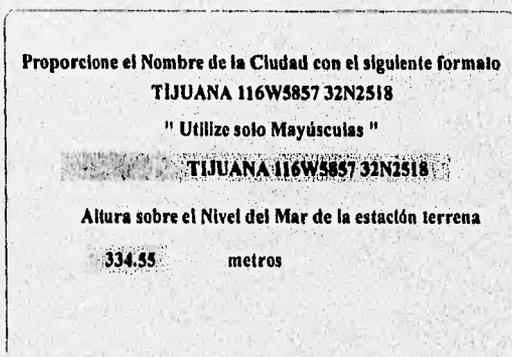
Alcmt grados	Angulo grados	1aZona	Distancia km	2aZona	Distancia km	3aZona	Distancia km
0	0.295	A	2905.8	-	-	-	-
10	0.438	A	2389.9	-	-	-	-
20	0.366	A	3663.2	-	-	-	-
30	1.162	A	1162.9	-	-	-	-
40	0.922	A	3922.4	-	-	-	-
50	1.652	A	1652.3	-	-	-	-
60	0.978	A	1898.9	-	-	-	-
70	0.922	A	2922.2	-	-	-	-
80	1.092	A	227.0	B	356.0	-	-
90	1.023	A	1023.9	B	223.9	-	-
100	1.278	A	234.4	B	1234.4	-	-
110	0.987	A	987.9	B	597.9	-	-
120	0.976	A	342.2	B	232.2	A	121.9
130	0.916	A	16.4	C	1136.8	A	476.1
140	0.543	A	9.8	B	1234.6	C	1234.6
150	0.132	A	4.5	B	234.5	C	234.5
160	1.091	A	14.5	B	334.5	C	334.5
170	1.922	A	22.4	B	782.4	C	782.4
180	1.452	A	456.5	B	982.5	C	982.5
190	0.081	A	34.5	B	1024.7	C	1024.7
200	0.971	A	567.1	B	1800.2	C	64.2
218	0.761	A	234.5	B	1454.5	C	1454.5
230	0.451	A	23.6	B	1234.6	-	-
240	0.912	A	23.4	D	1234.4	-	-
250	0.675	A	25.6	B	1298.6	-	-
260	0.671	A	89.9	B	359.9	C	229.9
270	0.671	A	71.1	B	451.1	C	231.1
280	1.002	A	45.7	B	145.7	C	1245.7
290	1.043	A	34.4	B	934.4	A	934.4
300	1.891	A	83.5	B	133.5	A	133.5
300	0.089	A	1902.3	B	45.3	A	45.3
310	0.891	A	1891.2	B	651.2	A	651.2
320	0.898	A	1298.3	B	34.3	-	-
330	1.088	A	1008.3	-	-	-	-
340	1.087	A	1087.3	-	-	-	-
350	1.893	A	908.1	-	-	-	-

III.5.2 Editor AP28.

El archivo TERRENO.DAT contiene la información de los perfiles topográficos del terreno del lugar de instalación, en este trabajo se cuenta únicamente con los datos de las ciudades TIJUANA 116W5857 32N2518 y CD. JUAREZ 106W2915 31N4419; sin embargo, este archivo puede ser ampliado para contener otros lugares de instalación que requiera el usuario con sus respectivos perfiles topográficos. Para ésto, es necesario contar con dichos datos y posteriormente añadirlos al archivo correspondiente (ejemplos de estos perfiles se encuentran en el Apéndice B de este trabajo); pensando en ésto, fue creado el Editor Apéndice 28 que el usuario podrá elegir del menú principal del programa AP28. Una vez elegido aparecerá el menú del Editor AP28 con las opciones que se muestran en la figura:



Si la opción elegida es Ingresar una nueva ciudad aparecerá la siguiente pantalla; en ella se pide el distintivo con el cual se identificará al sitio de instalación el cual se forma de la siguiente manera: NOMBRE LONGITUD LATITUD, además de la altura sobre el nivel del mar del mismo.



A continuación aparecerá la pantalla para ingresar los valores de las alturas del terreno para cada 10° de acimut con intervalos de 1 kilómetro hasta un máximo de 50 km. La siguiente figura muestra dicha pantalla.

TIJUANA 116W5857 32N2518		ASNMM = 334.55	
ACIMUT : 0			
DISTANCIA [km]	ALTURA [m]	DISTANCIA [km]	ALTURA [m]
1	334.55	26	
2		27	
3		28	
4		29	
5		30	
6		31	
7		32	
8		33	
9		34	
10		35	
11		36	
12		37	
13		38	
14		39	
15		40	
16		41	
17		42	
18		43	
19		44	
20		45	
21		46	
22		47	
23		48	
24		49	
25		50	

Una vez ingresados correctamente los datos, el programa se encarga de almacenarlos en el archivo de datos correspondiente (TERRENO.DAT) para su posterior utilización.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

A continuación se realizará el ejemplo de un estudio para graficar el contorno de coordinación de una estación terrena receptora que se desea instalar en la ciudad de Tijuana, Baja California Norte; los cálculos se basan en los conceptos y procedimientos del Apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la U.I.T.; capítulo II de éste trabajo.

IV.1 Datos de los sistemas analizados.

Datos de la Estación Terrena.

Localización Geográfica

Tijuana, Baja California Norte

Longitud : 116° W 58' 57''

Latitud : 32° N 25' 18''

Estación Receptora : Rx.

Temperatura de ruido del sistema receptor : 70 K.

Longitud del satélite : 116° W 30' 00''

Diámetro de la antena : 11 m.

Tipo de modulación utilizada : Analógica.

Frecuencia : 4 GHz

Datos de la Estación Terrenal.

$PIRE_t'$: 55 dBW.

Datos obtenidos a partir del cuadro II (capítulo II).

$p_o = 0.03$

$n = 3$

$p = 0.01$

$J = -8$ dB

$M_o(p_o) = 17$ dB

$W = 4$

$B = 10^6$ Hz.

$P_r = 13$ dB

$\Delta G = 0$

$E = 55$ dBW.

k : Constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K);

IV.2 Cálculo del nivel admisible de la emisión interferente.

El nivel admisible de la emisión interfeferente está dado por la siguiente ecuación:

$$P_i(p) = 10 \log(kT_e B) + J + M(p) - W$$

sustituyendo valores, tenemos:

$$P_i(0.01) = 10 \log[(1.38 \times 10^{-23}) \times 70 \times 10^6] - 8 + 17 - 4$$

$$P_i(0.01) = -145.1490 \text{ dB.}$$

IV.3 Cálculo del ángulo máximo del horizonte.

Para poder conocer el ángulo del horizonte máximo en cada acimut alrededor de una estación terrena es necesario tener los perfiles topográficos del lugar en el cual se pretende instalarla.

En el Apéndice B se encuentran algunos perfiles topográficos alrededor de una estación de radiodifusión localizada en la ciudad de Tijuana y que se utilizaron en la determinación del ángulo máximo del horizonte; la fuente de donde se han obtenido estos datos es un programa propiedad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El ángulo máximo del horizonte se calcula de la siguiente manera:

$$\epsilon = \text{Max} [\text{tang}^{-1} (A_i / D_i)]$$

donde :

A_i : distancia perpendicular a una línea horizontal proyectada desde la antena hasta cada punto del terreno.

D_i : distancia a lo largo de la línea horizontal desde la antena hasta el punto i .

En la siguiente figura se ilustra este concepto.

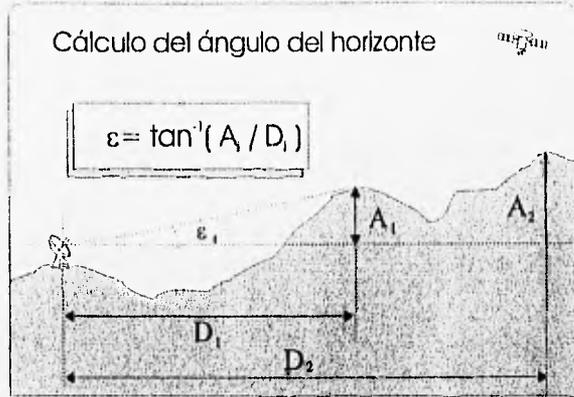


Figura 4.1

En la tabla siguiente se muestran los ángulos del horizonte calculados para cada acimut; en este caso, el análisis se ha realizado en intervalos de acimut de 10°, se considera que con este intervalo los resultados ofrecen errores despreciables.

ACIMUT	ANGULO DEL HORIZONTE	ACIMUT	ANGULO DEL HORIZONTE	ACIMUT	ANGULO DEL HORIZONTE
0	0.2950	120	1.4689	240	-0.3833
10	0.4378	130	0.8909	250	-0.2735
20	0.3657	140	1.0155	260	-0.1115
30	1.1155	150	1.4240	270	0.5163
40	1.1408	160	0.7714	280	1.0094
50	0.8898	170	-0.2656	290	1.6319
60	0.8837	180	-0.3833	300	1.7567
70	0.7469	190	-0.3833	310	1.3834
80	0.7981	200	-0.3833	320	0.9619
90	1.1019	210	-0.3833	330	0.4955
100	0.4847	220	-0.3833	340	0.2403
110	1.1928	230	-0.3833	350	0.0626

Tabla IV.1
 Angulos máximos del horizonte para los acimutes considerados.

IV.4 Cálculo de la ganancia.

De acuerdo al método descrito en el punto II.1.4 del capítulo II, el cálculo de la ganancia se efectúa del modo siguiente:

Arco de círculo máximo entre la estación terrena y el punto subsatelital Ψ .

$$\Psi = \cos^{-1}(\cos \zeta \times \cos \delta)$$

donde:

$$\begin{aligned}\zeta &= 32^{\circ} 25' 18'' \quad \text{y} \\ \delta &= (116^{\circ} 30' 00'' - 116^{\circ} 58' 57'') \\ \delta &= -0.4825^{\circ}\end{aligned}$$

entonces:

$$\begin{aligned}\Psi &= \cos^{-1}[\cos(32^{\circ} 25' 18'') \times \cos(-0.4825^{\circ})] \\ \Psi &= 32.4248^{\circ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha'_s &= \cos^{-1}(\tan \zeta \times \cot \Psi) \\ \alpha'_s &= \cos^{-1}[\tan(32^{\circ} 25' 18'') \times \cot(32.4248^{\circ})] \\ \alpha'_s &= 0.8998^{\circ}\end{aligned}$$

Acimut del satélite visto desde la estación terrena α_s .

$$\begin{aligned}\alpha_s &= 180^{\circ} - \alpha'_s \\ \alpha_s &= 180^{\circ} - 0.8998^{\circ} \\ \alpha_s &= 179.1001^{\circ}\end{aligned}$$

Angulo de elevación del satélite visto desde la estación terrena ϵ_s .

$$\epsilon_s = \tan^{-1}[(k - \cos \Psi) / \sin \Psi] - \Psi$$

donde:

k : Relación radio de la órbita / radio de la Tierra, igual a 6.62

entonces:

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \tan^{-1}[(6.62 - \cos(32.4248^{\circ})) / \sin(32.4248^{\circ})] - 32.4248^{\circ} \\ \epsilon_s &= 52.2714^{\circ}\end{aligned}$$

Angulo entre el eje del haz principal y la dirección del horizonte correspondiente al acimut α considerado (intervalos de 10°) $\varphi(\alpha)$.

$$\varphi(\alpha) = \cos^{-1} [\cos \epsilon \times \cos \epsilon_s \times \cos(\alpha - \alpha_s) + \sin \epsilon \times \sin \epsilon_s]$$

donde α es el acimut

Para $\alpha = 0^\circ$:

$$\varphi(0) = \cos^{-1} [\cos(0.2950) \times \cos(52.2714) \times \cos(0 - 178.1116) + \sin(0.22950) \times \sin(52.2714)]$$

$$\varphi(0) = 127.41^\circ$$

Para $\alpha = 10^\circ$:

$$\varphi(10) = \cos^{-1} [\cos(0.4378) \times \cos(52.2714) \times \cos(10 - 178.1116) + \sin(0.4378) \times \sin(52.2714)]$$

$$\varphi(10) = 126.36^\circ$$

de manera semejante se obtiene $\varphi(\alpha)$ para α desde 20° a 350° , los resultados son los siguientes:

ACIMUT (α)	$\varphi(\alpha)$	ACIMUT (α)	$\varphi(\alpha)$	ACIMUT (α)	$\varphi(\alpha)$
0	127.41	120	69.91	240	73.00
10	126.36	130	65.10	250	78.67
20	124.25	140	60.29	260	84.53
30	120.27	150	55.99	270	90.14
40	116.09	160	53.67	280	95.84
50	111.43	170	52.96	290	101.28
60	106.03	180	52.66	300	106.84
70	100.36	190	53.44	310	112.42
80	94.32	200	55.50	320	117.48
90	87.97	210	58.68	330	121.85
100	82.37	220	62.79	340	125.09
110	75.84	230	67.62	350	127.11

Tabla IV.2
Angulos entre el eje del haz principal y la dirección del horizonte correspondiente a los acimutes considerados.

Longitud de onda (λ)

$$\lambda = c / f$$

donde:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 4 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 0.075 \text{ m}$$

Relación diámetro de la antena (D) entre longitud de onda (λ).

$$D/\lambda = 11/0.075$$

$$D/\lambda = 146.666$$

Ganancia $G[\varphi(\alpha)]$.

Dado que $D/\lambda > 100$ y para todos los acimutes se cumple que $48^\circ \leq \varphi(\alpha) \leq 180^\circ$ entonces:

$$G[\varphi(\alpha)] = -10 \text{ dB} \quad 0^\circ \leq \alpha < 360^\circ$$

IV.5 Cálculo de la pérdida básica de transmisión mínima admisible $L_b(p)$.

La pérdida básica de transmisión mínima admisible se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$L_b(p) = P_i' + G_i' + G_r - P_r(p)$$

$$L_b(p) = \text{PIRE}_i' + G_r - P_r(p)$$

sustituyendo datos tenemos:

$$L_b(0.01) = 55 - 10 - (-145.149)$$

$$L_b(0.01) = 190.149 \text{ dB}$$

En la siguiente tabla se muestran las distancias en cada zona radioclimática que se han medido para cada acimut; estos datos son utilizados en el cálculo de las distancias de coordinación para el modo de propagación 1.

ACIMUT	ZONA	DISTANCIA	ZONA	DISTANCIA	ZONA	DISTANCIA
0	A	1860	-	-	-	-
10	A	1860	-	-	-	-
20	A	1860	-	-	-	-
30	A	1860	-	-	-	-
40	A	1860	-	-	-	-
50	A	1860	-	-	-	-
60	A	1860	-	-	-	-
70	A	1860	-	-	-	-
80	A	1860	-	-	-	-
90	A	1860	-	-	-	-
100	A	2000	-	-	-	-
110	A	1800	-	-	-	-
120	A	204	B	228	A	1500
130	A	241	B	283	A	1500
140	A	311	B	1024	C	1000
150	A	843	B	402	C	1000
160	A	267	B	361	A	39
170	A	12	B	1008	C	1500
180	A	12	B	984	C	1500
190	A	32.65	B	979	C	2837
200	A	32.65	B	1045	C	2351
210	A	21.22	B	1118	C	1581
220	A	19.59	B	1264	C	1135
230	A	16.32	B	1520	C	689
240	A	8.63	B	1844	C	222
250	A	8.63	B	1860	-	-
260	A	8.63	B	1860	-	-
270	A	5	B	1860	-	-
280	A	8.16	B	1860	-	-
290	A	16.32	B	1860	-	-
300	A	25.30	B	1191	-	-
310	A	48.97	B	342	A	65
320	A	48.97	B	204	A	277
330	A	1208	B	1061	-	-
340	A	1600	B	571	-	-
350	A	1918	-	-	-	-

Tabla IV.3
Distancias medidas en cada zona radioclimática para cada acimut.

IV.6 Cálculo de las distancias de coordinación para el modo de propagación 1.

La ecuación que relaciona la pérdida de transmisión mínima admisible con la distancia de coordinación es:

$$L_h(p) = A_0 + \beta d_1 + A_h$$

a partir de la cual

$$d_1 = L_h(p) - (A_0 + A_h) / \beta$$

donde:

$$A_0 = 120 + 20 \log f$$

sustituyendo valores:

$$A_0 = 120 + 20 \log 4$$

$$A_0 = 132.041 \text{ dB}$$

además,

$$\beta = \beta_z + \beta_v + \beta_o$$

donde:

$$\beta_{zA} = 0.154(1+3.05 \log f)^{0.4}(0.9028 + 0.0486 \log p)^2$$

$$\beta_{zB} = \beta_{zC} = (0.272 + 0.047 \log p)^2$$

$$\beta_v = 3.5 \times 10^{-4} \times \rho [((1 - 22.3/f)^2 + 9/f^2)^{-1} + (1 + 22.3/f)^2] + 3 \times 10^{-6} \rho f^2$$

$$\beta_o = 68 \times 10^{-4} \times f^2 [(60 - f)^2 + (60 + f)^2 + (f^2 + 0.36)^{-1}]$$

evaluando la expresión de β_o se obtiene:

$$\beta_o = 68 \times 10^{-4} \times 4^2 [(60 - 4)^2 + (60 + 4)^2 + (4^2 + 0.36)^{-1}]$$

$$\beta_o = 6.7116 \times 10^{-3} \text{ dB/km}$$

sustituyendo los valores respectivos para cada una de las zonas tenemos que:

para la zona A

$$\beta_{zA} = 0.154(1+3.05 \log 4)^{0.4}(0.9028 + 0.0486 \log 0.01)^2$$

$$\beta_{zA} = 0.15165 \text{ dB/km}$$

con $\rho = 1 \text{ g/m}^3$

$$\begin{aligned}\beta_{vA} &= 3.5 \times 10^{-4} \times 1 [((1 - 22.3/4)^2 + 9/4^2)^{-1} + (1 + 22.3/4)^2] + 3 \times 10^{-6} \times 1 \times 4^2 \\ \beta_{vA} &= 7.238 \times 10^{-5} \text{ dB/km}\end{aligned}$$

por lo tanto:

$$\begin{aligned}\beta_A &= \beta_{zA} + \beta_{vA} + \beta_0 \\ \beta_A &= 0.1584 \text{ dB/km}\end{aligned}$$

en las zonas B y C tenemos:

$$\begin{aligned}\beta_{zB} &= \beta_{zC} = (0.272 + 0.047 \log 0.01)^2 \\ \beta_{zB} &= \beta_{zC} = 0.03168 \text{ dB/km}\end{aligned}$$

para la zona B, $\rho = 2 \text{ g/m}^3$

$$\begin{aligned}\beta_{vB} &= 3.5 \times 10^{-4} \times 2 [((1 - 22.3/4)^2 + 9/4^2)^{-1} + (1 + 22.3/4)^2] + 3 \times 10^{-6} \times 2 \times 4^2 \\ \beta_{vB} &= 1.4476 \times 10^{-4} \text{ dB/km}\end{aligned}$$

por lo tanto:

$$\begin{aligned}\beta_B &= \beta_{zB} + \beta_{vB} + \beta_0 \\ \beta_B &= 0.0385 \text{ dB/km}\end{aligned}$$

para la zona C, $\rho = 5 \text{ g/m}^3$

$$\begin{aligned}\beta_{vC} &= 3.5 \times 10^{-4} \times 5 [((1 - 22.3/4)^2 + 9/4^2)^{-1} + (1 + 22.3/4)^2] + 3 \times 10^{-6} \times 2 \times 5^2 \\ \beta_{vC} &= 3.619 \times 10^{-4} \text{ dB/km}\end{aligned}$$

por lo tanto:

$$\begin{aligned}\beta_C &= \beta_{zC} + \beta_{vC} + \beta_0 \\ \beta_C &= 0.03875 \text{ dB/km}\end{aligned}$$

Para cada uno de los acimutes (α), el factor A_h se obtiene del siguiente modo :

$$A_h = 20 \log (1 + 4.5 f^{0.3} \epsilon) + f^{1/3} \epsilon$$

Para $\alpha = 0^\circ$:

$$A_{h0} = 20 \log [1 + 4.5 \times 4^{0.5} (0.2950)] + 4^{1/3} \times 0.2950$$

$$A_{h0} = 11.7260$$

Para $\alpha = 10^\circ$:

$$A_{h10} = 20 \log (1 + 4.5 \times 4^{0.5} (0.4378)) + 4^{1/3} \times 0.4378$$

$$A_{h10} = 14.5698$$

De manera semejante se obtiene para los acimutes restantes.

ACIMUT	A_h	ACIMUT	A_h	ACIMUT	A_h
0	11.726	120	25.389	240	-3.066
10	14.569	130	20.516	250	-2.188
20	13.232	140	21.732	260	-0.892
30	22.629	150	25.068	270	15.855
40	22.847	160	19.223	280	21.675
50	20.505	170	-2.124	290	26.501
60	20.442	180	-3.066	300	27.300
70	18.940	190	-3.066	310	24.770
80	19.525	200	-3.066	320	21.223
90	22.511	210	-3.066	330	15.529
100	15.356	220	-3.066	340	10.383
110	23.283	230	-3.066	350	3.982

Tabla IV.4

Término de corrección debido al ángulo del horizonte para cada acimut considerado.

En este ejemplo, se puede observar que el intervalo de acimutes comprendido de 0° a 110° , así como para 350° , el cálculo de las distancias de coordinación se realiza solamente sobre una zona radioclimática, el resto de los acimutes comprenden varias zonas por lo que se aplica el método de trayectos mixtos, obteniéndose lo siguiente:

Para una sola zona radioclimática:

$$d_1 = [L_h(p) - A_0 - A_h] / \beta_\lambda$$

Para $\alpha = 0^\circ$:

$$d_1(0) = (190.149 - 132.04119 - 11.7260) / 0.1584$$

$$d_1(0) = 292.82 \text{ km.}$$

Para $\alpha = 10^\circ$:

$$d_i(10) = (190.149 - 132.04119 - 14.569) / 0.1584$$
$$d_i(10) = 274.86 \text{ km.}$$

de manera semejante, se obtienen las distancias restantes para un solo trayecto.

Para trayectos mixtos tenemos:

En 120° , las distancias medidas en cada zona radioclimática son:

$$D_i = 204 \text{ km (zona A),}$$
$$D_j = 228 \text{ km (zona B),}$$
$$D_k = 1500 \text{ km (zona A),}$$

entonces:

$$d_i = [L_b(p) - A_0 - A_h] / \beta_{iA}$$

sustituyendo valores

$$d_i(120) = (190.149 - 132.04119 - 25.389) / 0.1584$$
$$d_i(120) = 206.558 \text{ km.}$$

Dado que $d_i > D_i$ entonces

$$d_j = [L_b(p) - A_0 - A_h - \beta_i D_i] / \beta_{jB}$$

sustituyendo valores

$$d_j(120) = (190.149 - 132.04119 - 25.389 - 0.1584 \times 204) / 0.0385$$
$$d_j(120) = 10.524 \text{ km.}$$

Dado que $d_j < D_j$ entonces

$$d_i(120) = D_i + d_j$$

sustituyendo valores

$$d_i(120) = 204 + 10.524$$
$$d_i(120) = 214.524 \text{ km}$$

Para 130° tenemos lo siguiente

Las distancias medidas en cada zona radioclimática son:

$$\begin{aligned} D_i &= 241 \text{ km} && (\text{zona A}), \\ D_j &= 283 \text{ km} && (\text{zona B}), \\ D_k &= 1500 \text{ km} && (\text{zona A}), \end{aligned}$$

por lo tanto

$$d_i = [L_i(p) - A_0 - A_k] / \beta_{iA}$$

sustituyendo valores

$$\begin{aligned} d_i(130) &= (190.149 - 132.04119 - 20.516) / 0.1584 \\ d_i(130) &= 237.32 \text{ km}. \end{aligned}$$

Dado que $d_i < D_i$ entonces

$$d_i(130) = d_i$$

sustituyendo valores

$$d_i(130) = 237.32 \text{ km}$$

De manera semejante se calculan las distancias para los acimutes restantes.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

ACIMUT	DISTANCIA	ACIMUT	DISTANCIA	ACIMUT	DISTANCIA
0	292.82	120	214.52	240	1000.00
10	274.86	130	237.32	250	1000.00
20	283.31	140	229.64	260	1000.00
30	223.98	150	208.58	270	1000.00
40	222.61	160	245.48	280	933.43
50	237.39	170	1350.00	290	769.33
60	237.79	180	1350.00	300	720.65
70	247.27	190	1350.00	310	509.46
80	243.58	200	1350.00	320	387.24
90	223.73	210	1350.00	330	268.74
100	269.90	220	1350.00	340	301.22
110	219.88	230	1000.00	350	341.62

Tabla IV.5
Distancias de coordinación para el modo de propagación 1.

IV.7 Cálculo de la distancia de dispersión por lluvia (d), modo de propagación 2.

Cálculo de la Pérdida de Transmisión Normalizada $L_2(0.01)$.

Para determinar el contorno de coordinación en el caso de dispersión por lluvia se utiliza la siguiente fórmula:

$$L_2(0.01) = Pt' + \Delta G - Pr(p) - F(p,f)$$

sustituyendo valores:

$$L_2(0.01) = 13 + 0 - (-145.1490) - 0$$

$$L_2(0.01) = 158.1490 \text{ dB}$$

Aplicando el método numérico sabemos que la pérdida de transmisión normalizada se relaciona con la distancia de coordinación d, en km por medio de la siguiente ecuación:

$$L_2(0.01) = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 - A_5 + A_6$$

donde:

$$A_1 = 157 + 20 \log(d_r) - 20 \log(f) \quad (\text{dB})$$

$$A_2 = 26 + 14 \log(R) - 5.88 \times 10^{-5} (d_r - 40)^2 \quad (\text{dB})$$

R es la intensidad de lluvia en la superficie terrestre igual a 26 mm/h, debido a que la estación se encuentra en la zona hidrometeorológica 4 (cuadro IV, capítulo II).

Dado que la frecuencia es menor que 5 GHz tenemos que:

$$A_3 = 0 \quad (\text{dB})$$

$$A_4 = 0 \quad (\text{dB})$$

$$A_5 = 10 \log(D) \quad (\text{dB})$$

siendo D el diámetro de la célula de lluvia, igual a 3 km (cuadro IV, capítulo II).

$$A_6 = d_0 \beta_0 + d_v \beta_v$$

donde:

$$d_0 = 0.7d_r + 32 \quad \text{km} \quad \text{para } d_r < 340 \quad \text{km}$$

$$= 270 \quad \text{km} \quad \text{para } d_r \geq 340 \quad \text{km}$$

$$d_v = 0.7d_r + 32 \quad \text{km} \quad \text{para } d_r < 240 \quad \text{km}$$

$$= 200 \quad \text{km} \quad \text{para } d_r \geq 240 \quad \text{km}$$

y

$$\beta_v = 3.5 \times 10^{-4} \times \rho [((1 - 22.3/f)^2 + 9/f^2)^{1/2} + (1 + 22.3/f)^2] + 3 \times 10^{-6} \rho f^2$$

donde ρ ha de sustituirse por ρ_m igual a 2 g/m³ (cuadro IV, capítulo II)

$$\beta_0 = 68 \times 10^{-4} \times f^2 [(60 - f)^2 + (60 + f)^2 + (f^2 + 0.36)^{1/2}]$$

Sustituyendo los valores correspondientes de f , R, D y ρ y resolviendo la ecuación de manera iterativa con incrementos para d_r de 0.1 km se obtiene que la distancia de coordinación para el modo de dispersión 2 es igual a 434.82 km. Debido a que la distancia máxima para el modo de dispersión por lluvia excede el valor indicado en el cuadro V (capítulo II) se considera que:

$$d_r = 330 \text{ km.}$$

La distancia de dispersión por lluvia d , así como el ángulo de elevación ϵ_a del haz principal de la antena de la estación terrena, se utilizan para determinar Δd por medio de la ecuación:

$$\Delta d = 5.88 \times 10^{-5} (d - 40)^2 \cotg(\epsilon_a) \quad (\text{km})$$

donde

$$\epsilon_a = 52.2714^\circ$$

entonces

$$\begin{aligned} \Delta d &= 5.88 \times 10^{-5} (330 - 40)^2 \cotg(52.2714) \quad (\text{km}) \\ \Delta d &= 3.826 \text{ km} \end{aligned}$$

La distancia Δd se mide en un mapa de escala adecuada desde la ubicación de la estación terrena a lo largo del acimut del haz principal de su antena, y se traza un círculo de radio d , que tenga por centro el punto así obtenido. En este caso el acimut del haz principal de la antena es igual al ángulo $\alpha_a = 179.1001^\circ$, el cual fue calculado en el punto IV.4 de este capítulo.

IV.8 Contornos de coordinación.

A continuación se muestran los contornos de coordinación obtenidos con los cálculos realizados hasta el momento. Posteriormente se presentan aquéllos obtenidos por el programa AP28, los datos con los que se ha llevado a cabo el cálculo en el programa son los mismos que se incluyen al inicio del presente capítulo, se muestran también las tablas con las distancias en cada zona radioclimática, los ángulos de elevación y las distancias de coordinación para cada acimut considerado, con objeto de poder realizar comparaciones con los resultados ilustrados en las tablas IV.1 a IV.5, así como las distancias para el modo de propagación 2.



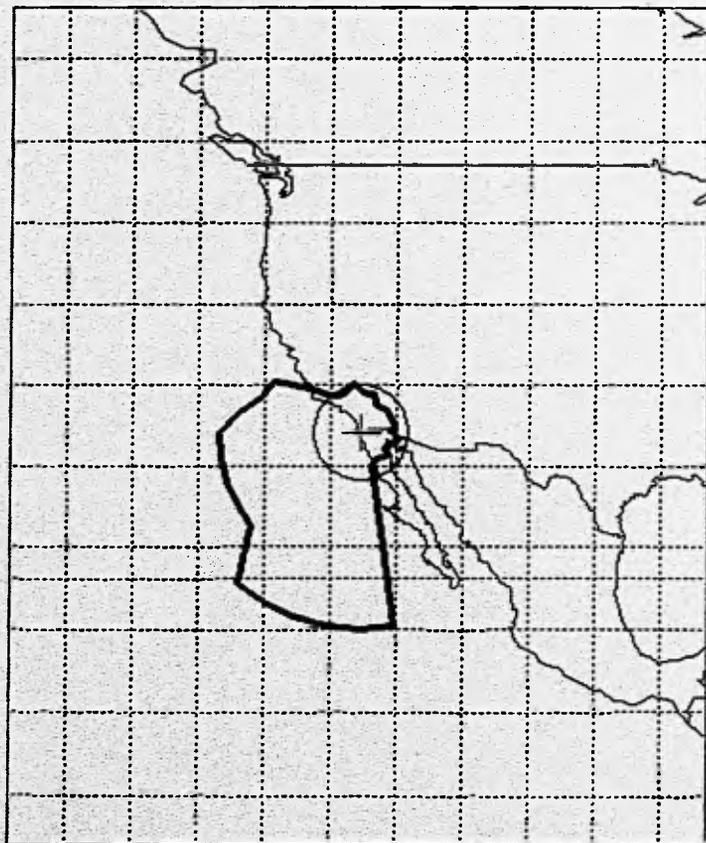


Contornos de Coordinación

 Modo de propagación 1

 Modo de propagación 2

TIJUANA 116W5857 32N2518



TIJUANA 116W5857 32N2518

ANGULO DEL HORIZONTE Y ZONAS RADIOCLIMATICAS

Acimut grados	Angulo grados	1a. Zona	Distancia km	2a. Zona	Distancia km	3a. Zona	Distancia km
0	0.295	A	2906.8	-	0.0	-	0.0
10	0.438	A	2947.9	-	0.0	-	0.0
20	0.366	A	3128.1	-	0.0	-	0.0
30	1.116	A	3436.5	-	0.0	-	0.0
40	1.141	A	3614.9	-	0.0	-	0.0
50	0.890	A	3079.2	-	0.0	-	0.0
60	0.884	A	2763.2	-	0.0	-	0.0
70	0.747	A	2576.3	-	0.0	-	0.0
80	0.798	A	2474.8	-	0.0	-	0.0
90	1.102	A	2444.0	-	0.0	-	0.0
100	0.485	A	2099.9	B	374.9	-	0.0
110	1.193	A	1931.3	B	645.0	-	0.0
120	1.469	A	227.3	B	163.2	A	1655.5
130	0.891	A	264.9	B	236.4	A	2578.0
140	1.016	A	314.0	B	1040.5	C	197.3
150	1.424	A	1249.3	C	2159.5	-	0.0
160	0.771	A	326.7	B	210.3	A	77.6
170	-0.266	A	9.3	B	969.4	C	1969.2
180	-0.383	A	48.6	B	948.7	C	1909.5
190	-0.383	A	9.3	B	969.4	C	1969.2
200	-0.383	A	38.8	B	1035.1	C	2015.3
210	-0.383	A	27.7	B	1138.6	C	2242.5
220	-0.383	A	18.0	B	1336.5	C	2260.5
230	-0.383	A	18.0	B	1621.8	C	1439.4
240	-0.383	A	29.2	B	2104.4	C	629.8
250	-0.274	A	29.2	B	2547.1	-	0.0
260	-0.111	A	26.6	B	2448.3	-	0.0
270	0.512	A	28.6	B	2417.5	-	0.0
280	1.009	A	28.6	B	2448.3	-	0.0
290	1.832	A	29.2	B	2547.1	-	0.0
300	1.757	A	29.2	B	2734.0	-	0.0
310	1.383	A	36.0	B	300.6	A	18.0
320	0.962	A	62.9	B	116.5	A	35.9
330	0.496	A	72.7	B	27.7	A	1249.3
340	0.240	A	1871.3	B	38.8	A	1217.9
350	0.063	A	1820.9	B	0.0	-	0.0

TIJUANA 116W5857 32N2518

DISTANCIAS DE COORDINACION PARA EL MODO DE PROPAGACION 1

ACIMUT grados	DISTANCIA km	ACIMUT grados	DISTANCIA km	ACIMUT grados	DISTANCIA km
0	292.730	120	206.499	240	1000.000
10	274.791	130	237.254	250	1000.000
20	283.225	140	229.581	260	1000.000
30	223.916	150	208.530	270	1000.000
40	222.545	160	245.413	280	862.645
50	237.330	170	1350.000	290	729.189
60	237.721	180	1350.000	300	708.465
70	247.201	190	1350.000	310	473.857
80	243.514	200	1350.000	320	334.563
90	224.669	210	1350.000	330	289.649
100	269.819	220	1350.000	340	301.211
110	219.792	230	1000.000	350	341.611

DISTANCIA Y DESPLAZAMIENTO PARA EL MODO DE PROPAGACION 2

DISTANCIA km	DESPLAZAMIENTO km	ANGULO grados
330.000	3.826	179.100

IV.9 Conclusiones.

1. La determinación de la zona de coordinación es necesaria siempre que se desee instalar una estación terrena o terrenal en cualquier lugar del país, principalmente en las zonas fronterizas, con el objeto de no sufrir u ocasionar interferencias perjudiciales mutuas, que dañarían gravemente la calidad de recepción de ambos sistemas.
2. El Apéndice 28 de Reglamento de Radiocomunicaciones de la U.I.T., proporciona un procedimiento para el cálculo de la zona de coordinación alrededor de una estación terrena; sin embargo, su aplicación implica la realización de un gran número de cálculos o la utilización de gráficas y mapas de manera iterativa, lo cual ocasiona mayor inversión de tiempo e incremento en la probabilidad de errores en la obtención de datos y generación de resultados.
3. El programa AP28 es el resultado de la aplicación de las herramientas informáticas a la interpretación y resolución de un proceso contemplado en las normas internacionales que rigen las telecomunicaciones y se constituye como una opción para aquella institución que requiera un estudio o análisis de coordinación de interferencias entre estaciones terrenas y terrenales.
4. Dentro de las ventajas y restricciones que presenta el programa AP28 se encuentran las siguientes:
 - El programa es de fácil manejo;
 - Requiere para su funcionamiento sólo los datos básicos y característicos de los sistemas analizados;
 - Las diferencias observadas al aplicar el método de manera manual y el programa AP28 son despreciables y se deben principalmente a errores de redondeo y a las características particulares del equipo empleado;
 - Pueden obtenerse de manera impresa los resultados numéricos y los mapas con los contornos de coordinación;
 - La banda de frecuencias para la realización de cálculos está disponible entre 1 y 40 GHz, siempre y cuando se encuentre dentro de los intervalos marcados en el Apéndice 28 para servicios específicos;
 - El programa AP28 puede ser usado solamente en latitudes entre 10° sur a 50° norte y en longitudes de 70° oeste a 130° oeste (parte centro y norte de América, queda incluida totalmente la República Mexicana);
 - El programa cuenta únicamente con los datos topográficos de las ciudades de Tijuana y Ciudad Juárez en el archivo TERRENO.DAT; sin embargo, se ha dejado abierta la posibilidad de incrementar este archivo de datos con objeto de realizar cálculos en los países comprendidos dentro de las coordenadas geográficas antes mencionadas por medio de un subprograma elaborado con este propósito.

5. El objetivo planteado inicialmente de obtener la zona de coordinación en la región fronteriza de nuestro país con los Estados Unidos de América se ha cumplido e ilustrado satisfactoriamente con las características y datos con que cuenta actualmente el programa AP28.

6. Como estudio inicial la U.I.T., recomienda la aplicación del procedimiento descrito en el Apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones, para establecer un proceso de solicitud de coordinación de interferencias entre administraciones de telecomunicaciones de distintos países. Cuando la zona de coordinación de una estación terrena comprenda la totalidad o parte del territorio de otra administración, es necesario que las administraciones se consulten. Ello tiene como objeto realizar de manera conjunta exámenes y estudios de interferencia con parámetros reales de las estaciones terrenales ubicadas dentro de la zona de coordinación; debido a que el cálculo de las distancias de coordinación descrito en el Apéndice 28, presupone valores de referencia para los parámetros de las estaciones terrenales. Dentro de los Informes y Recomendaciones del C.C.I.R., figuran procedimientos para calcular la probabilidad real de interferencia entre ambos tipos de sistemas una vez que se ha determinado y trazado la zona de coordinación; con estos métodos es posible excluir algunas estaciones terrenales de posibles daños sufridos o causados debidos a interferencias perjudiciales dentro de la zona de coordinación. Ello determinará finalmente el alcance real de los niveles de interferencia y como consecuencia la planeación y distribución correcta de los sistemas de radiocomunicaciones. Por todo lo mencionado anteriormente podemos concluir que con la elaboración y aplicación del programa AP28 se ha dado el primer paso en el proceso de solicitud de coordinación de interferencias entre estaciones terrenales en nuestro país y los E.U.A., correspondiéndole a la S.C.T. la realización de los trámites que se requieran posteriormente.

APENDICE A

RECOMENDACIÓN 356-4

Valores máximos admisibles de interferencia debidos a los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa en un canal telefónico de un sistema de servicio fijo por satélite que utiliza la modulación de frecuencia, cuando ambos sistemas comparten las mismas bandas de frecuencias.

El CCIR

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que los sistemas del servicio fijo por satélite y los sistemas de relevadores radioeléctricos que comparten las mismas bandas de frecuencias se conciban de tal modo, que la potencia de los ruidos de interferencia en un punto de nivel relativo cero de cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia para sistemas del servicio fijo por satélite, producidos por un conjunto de las transmisiones del sistema de relevadores radioeléctricos, no exceda de los valores siguientes:

1.1 1000 pWOp, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 20% de un mes cualquiera;

1.2 50000 pWOp, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 0.03% de un mes cualquiera.

RECOMENDACIÓN 357-3

Valores máximos admisibles de interferencia en un canal telefónico de un sistema de relevadores radioeléctricos analógico con modulación angular que comparte las mismas bandas de frecuencias que los sistemas del servicio fijo por satélite.

El CCIR

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que los sistemas del servicio fijo por satélite y los sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos con visibilidad directa y modulación angular, que comparten las mismas bandas de frecuencias, de tal modo que la potencia de los ruidos debidos a interferencias en un punto de nivel relativo cero de un canal telefónico cualquiera de un circuito ficticio de referencia de 2500 km, para sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos con modulación angular y multiplexaje por división de frecuencia (FDM) bajo la

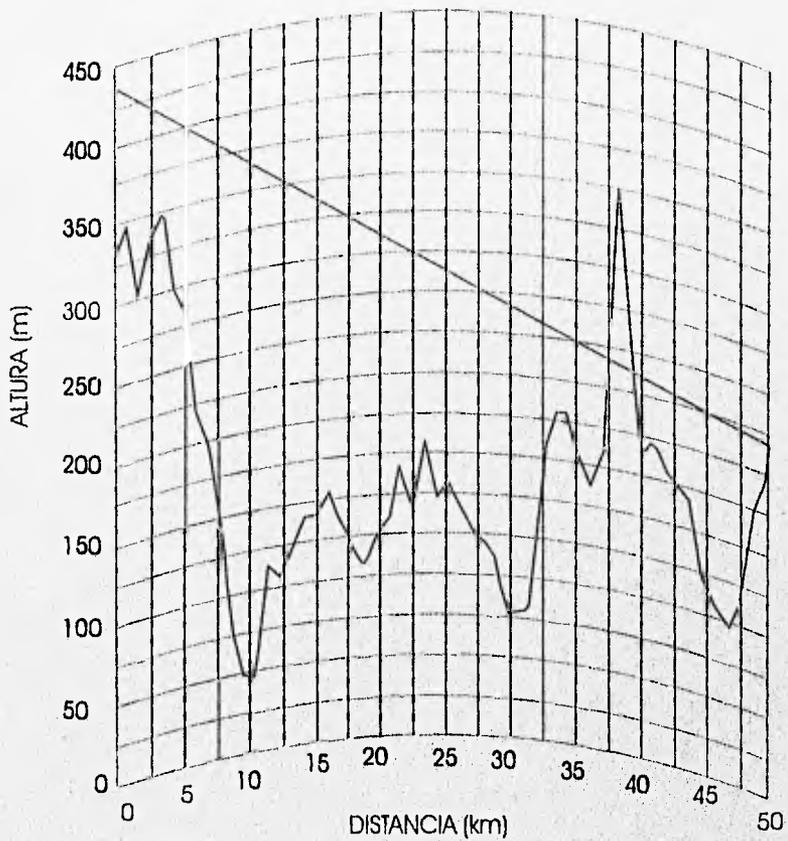
influencia del conjunto de las transmisiones de las estaciones terrenas y espaciales de los sistemas de servicio fijo por satélite, incluidos los transmisores asociados de teledifusión, telemando y seguimiento, no exceda de los siguientes valores:

- 1.1 1000 pWOp, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 20% de un mes cualquiera;
- 1.2 50000 pWOp, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 0.01% de un mes cualquiera.

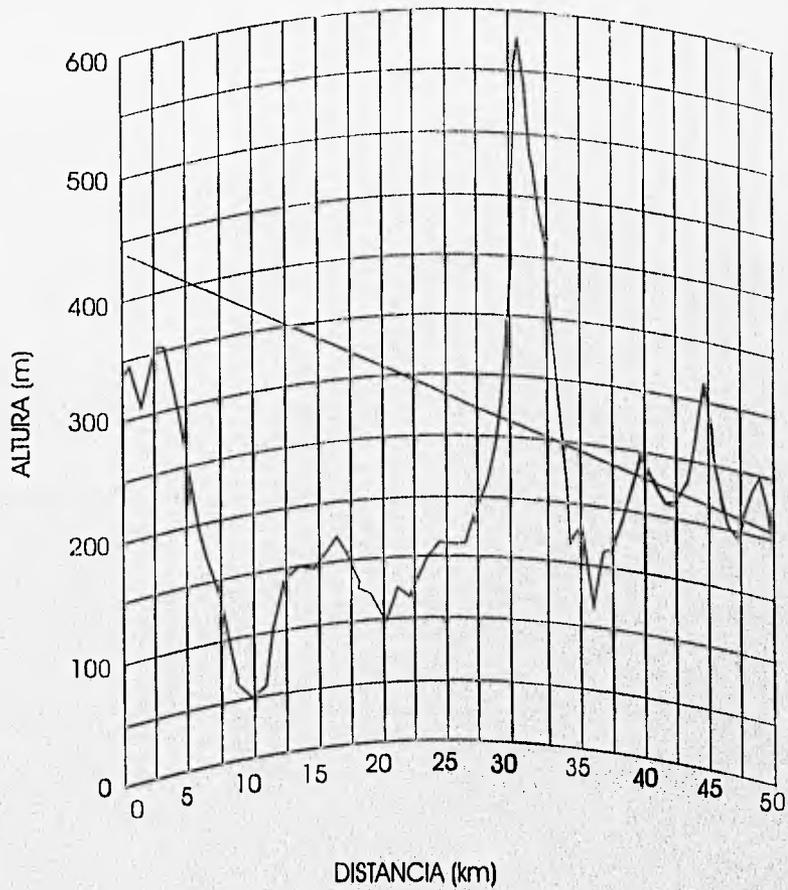
APENDICE B

PERFILES TOPOGRAFICOS DE LA CIUDAD DE TIJUANA

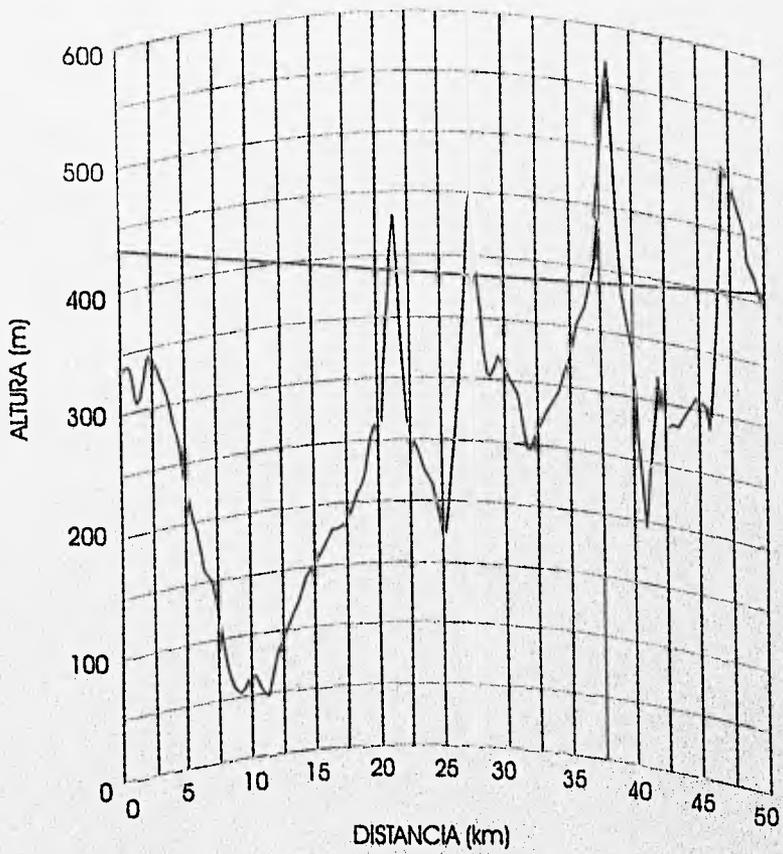
Algunos de los perfiles topográficos utilizados en el cálculo del ángulo del horizonte son los que se muestran a continuación.



CIUDAD: TIJUANA, BAJA CALIFORNIA NORTE.
 COORDENADAS GEOGRAFICAS: 32° 25' 18" N
 116° 58' 57" W
 ACIMUT: 0°



CIUDAD: TIJUANA, BAJA CALIFORNIA NORTE.
 COORDENADAS GEOGRAFICAS: 32° 25' 18" N
 116° 58' 57" W
 ACIMUT: 10°



CIUDAD: TIJUANA, BAJA CALIFORNIA NORTE.
 COORDENADAS GEOGRAFICAS: 32° 25' 18" N
 116° 58' 57" W
 ACIMUT: 20°

BIBLIOGRAFIA.

1. Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.
Recomendaciones e Informes del CCIR. (Así como cuestiones, programas de estudio, resoluciones, ruegos y decisiones).
Volúmenes IV, V, VI, IX y XII, Ginebra, 1982.
2. Ezzel, B.
Using Turbo Pascal 6.0.
Ed. Edison Wesley Publishing Company, 1991.
3. Lathi, B.P.
Sistemas de comunicación.
1a. edición; México. Ed. McGraw-Hill, 1986.
4. Maral, G. y Bousquet, M.
Satellite Communications Systems. Systems, Techniques and Technology.
2a. edición; Gran Bretaña; Ed. Wiley & Sons, 1993.
5. O'Brien, S.K.
Turbo Pascal 5.5.
Ed. Borland Osborne/Mc Graw-Hill, 1991.
6. Swan, T.
Mastering Turbo Pascal 6.
4a. edición; USA; Ed. Prentice Hall, 1993.
7. Tirró, S.
Satellite Communication Systems Design.
Ed. Plenum Press, New York, 1993.

8. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Reglamento de Radiocomunicaciones.

Volúmenes I y II.

9. International Frequency Registration Board (IFRB)

GEOPLT - A Program To Plot Geographical Maps

Versión 3.1, Geneva.

1990.