



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**TECNICAS PARA LA MEDICION DE LA PROPAGACION
EN LA BANDA DE ONDAS HECTOMETRICAS**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

MARCO ANTONIO DELGADO MERCHAN

DIRECTOR DE TESIS: ING. ALBERTO PEREZ ALFARO

ASESOR: ING. JAIME RODRIGUEZ MARTINEZ



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 está 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.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

CAPITULO I. CONSIDERACIONES TEORICAS.	1
1.1. Características de la onda electromagnética.	1
1.1.1. La onda electromagnética.	1
1.1.2. La onda electromagnética en el espacio libre.	1
1.1.3. Radiador isotrópico y hemisférico isotrópico	3
1.1.4. Intensidad de campo eléctrico y magnético.	3
1.1.5. Frecuencia.	5
1.1.6. Polarización.	5
1.1.7. Control de la onda electromagnética.	7
1.1.8. Recepción de las señales de radio.	8
1.1.9. Naturaleza de la onda modulada.	9
1.2. Formas de propagación de la onda electromagnética.	10
1.2.1. Propagación de la onda.	10
1.2.2. Clasificación de las frecuencias.	11
1.2.3. Propagación en la atmósfera.	11
1.2.3.1. Reflexión.	13
1.2.3.2. Refracción.	14
1.2.3.3. Difracción.	16
1.2.4. Propagación de la onda de tierra.	16
1.2.4.1. Componente de onda directa.	18
1.2.4.2. Componente de reflexión por la tierra.	18
1.2.4.3. Componente de onda troposférica.	19
1.2.4.4. Componente de onda de superficie.	20
1.2.4.4.1. Propagación de la onda de superficie.	22
1.2.4.4.2. Características eléctricas del suelo.	22
1.2.4.4.3. Factores que influyen en el valor de las constantes del suelo.	22
1.2.5. La ionósfera.	23
1.2.5.1. Efectos de las manchas solares en la ionosfera.	24
1.2.5.2. Capas de la ionósfera.	25
1.2.6. Propagación de la onda de cielo.	27
1.2.6.1. Trayectorias de transmisión de la onda de cielo.	27
1.2.7. Intensidad de señal requerida.	28
1.2.8. Tipos de ruido.	28
1.3. Antena de radiodifusión de onda media.	30
1.3.1. Antenas estándar de referencia.	30
1.3.2. Antena en el espacio libre.	31
1.3.3. Antena vertical sobre una superficie perfectamente conductora.	33
1.3.4. Antena de onda media en el espacio libre.	34
1.3.5. Antena vertical de un cuarto de longitud de onda en una tierra perfectamente conductora.	35

1.3.6. Antena vertical de onda media en una tierra perfectamente conductora.	36
1.3.7. Distribución de la corriente y el voltaje en la antena.	38
1.3.8. Características de una antena vertical.	40
1.3.9. Autoimpedancia.	41
1.3.10. Sistema de tierra.	43
1.3.11. Intensidad de campo inversa a una milla.	45
1.3.12. Intensidad de campo atenuada.	47
1.3.13. Antena direccional de dos torres.	47
1.3.13.1. Defasamiento de la corriente en las dos torres.	51
CAPITULO II. NORMATIVIDAD.	57
2.1. Normatividad.	57
2.1.1. Definiciones y terminología.	61
2.1.2. Principios técnicos.	64
2.1.3. Protección e interferencia.	66
2.1.3.1. Contorno normal que se ha de proteger.	66
2.1.3.2. Protección del contorno reducido.	66
2.1.3.3. Relaciones de protección.	67
2.1.4. Onda reflejada.	68
2.1.5. Interferencia objetable en el contorno normal que se ha de proteger.	68
2.1.6. Protección fuera de fronteras.	68
2.1.7. Sistema radiador y ubicación del transmisor.	68
2.1.8. Gráficas de atenuación de la onda de tierra.	71
2.1.9. Método de Kirke.	74
CAPITULO III. TECNICAS DE MEDICION Y CALCULO.	77
3.1. Cálculo y medición de la intensidad de campo característica de un sistema radiador omnidireccional.	79
3.1.2. Procedimiento para determinar las intensidades de campo aparente y característica de un sistema radiador.	82
3.1.3. Medición del campo característico a la estación radiodifusora XETAA de Torreón, Coah.	88
3.2. Mediciones de intensidad de campo para determinar el diagrama de radiación y el campo característico, de un sistema radiador direccional.	95
3.2.1. Procedimiento de medición del diagrama de radiación de sistemas radiadores direccionales.	96
3.2.2. Medición del diagrama de radiación de la estación radiodifusora XELG de León, Gto.	102
3.3. Mediciones tendientes a determinar radiaciones no esenciales.	116
3.3.1. Procedimiento para determinar las radiaciones no esenciales.	117
3.4. Cálculo y medición de los contornos protegido e interferente para determinar interferencias.	119
3.4.1. Cálculo de protección del contorno reducido.	121
3.4.2. Procedimiento para la medición del contorno reducido.	122
3.4.3. Estudio de aumento de potencia a la estación XEFR - 1080 KHz de la Cd. de México y de no interferencia a XEPK de Pachuca, Hgo.	123
3.5. Cálculo y medición de la onda reflejada.	131

3.5.1. Ejemplo de cálculo de la intensidad de la intensidad de la señal de onda reflejada.	132
3.5.2. Procedimiento de medición de la onda reflejada.	137
3.5.3. Estudio de campo por onda reflejada realizado a la radiodifusora XECMQ - 1320 KHz - 1 Kw N. de la Cd. de México, para determinar el grado de interferencia a la estación XENM - 1320 KHz - 0.25 Kw N. de la Cd. de Aguascalientes, Ags.	138
COMENTARIOS FINALES	143
ANEXO	144
LITERATURA CITADA	147

I N T R O D U C I O N

El espectro radioeléctrico es uno de nuestros recursos naturales más valiosos, por lo que se debe pugnar por su racionalización y optimización.

La vigilancia y control del espectro radioeléctrico la llevan a cabo la mayoría de los países, en el nuestro la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es el organismo responsable de realizar esta tarea, a través de la normalización y vigilancia del mismo, en coordinación con otras administraciones y organismos internacionales, como la Federal Communication Commission (FCC) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Con los grandes avances tecnológicos y el desarrollo del país en los últimos años, se ha incrementado notablemente el número de estaciones radio--difusoras, principalmente las que operan en Amplitud Modulada (AM) dentro de la banda comprendida entre 535 y 1605 [KHz] , también conocida como banda de ondas hectométricas.

El aumento de este tipo de estaciones ha traído como consecuencia la saturación de la banda destinada a ellas y por consiguiente se han incrementado -- las posibilidades de interferencias entre estaciones.

Debido a esto la SCT ha implementado medidas encaminadas a evitarlo; dentro de las medidas que se han tomado están la realización periódica de pruebas de comportamiento al elemento radiador, que sirven para verificar si se radía con lo establecido en las normas.

Algunos procedimientos para realizar estas pruebas se derivan de las normas publicadas por la SCT, pero no han sido actualizados y su explicación no es suficientemente clara, ya que sólo un ingeniero o técnico experimentado en la elaboración de estos estudios puede llevarlos a la práctica; por lo que es importante la elaboración de un texto en donde se detallen las técnicas de medición y cálculo para realizar pruebas de comportamiento.

Para la realización de este manual se recopiló información basta y actualizada sobre el tema. Con la debida asesoría de un Perito en Comunicaciones que tiene amplia experiencia en la realización de estas mediciones y cálculos, aunados a mi experiencia de 3 años trabajando en este campo, se pretende hacer un texto que auxilie al ingeniero o técnico en comunicaciones, en estudios de propagación dentro de la banda de ondas hectométricas.

Esta tesis está enfocada hacia las técnicas utilizadas en la realización de estudios de propagación a sistemas radiadores de estaciones radiodifusoras en AM, tendientes a solucionar y evitar problemas de interferencias entre estaciones.

El primer capítulo incluye los conceptos teóricos generales necesarios para el mejor entendimiento de los procedimientos de medición y cálculo, como -- las características de la onda electromagnética o de radio, sus formas de -- propagación y la antena de radiodifusión de onda media, que es la utilizada para este tipo de transmisiones.

En el segundo capítulo se reseñan las normas técnicas referentes a pruebas de comportamiento al elemento radiador editadas por la SCT, conteniendo las definiciones y terminología utilizadas, los principios técnicos en los que

se basan, las relaciones de protección para evitar interferencias de acuerdo al tipo de estación y los parámetros técnicos de operación de una radio-difusora.

En el último capítulo se detallan las técnicas de medición y cálculo de los estudios mencionados, para la propagación por onda de tierra o superficie y onda ionosférica o reflejada.

En primer término se cita el procedimiento para determinar las intensidades de campo aparente y característica de un sistema radiador omnidireccional - contenido en la Norma de la SCT, haciendo algunos comentarios al respecto.

Los siguientes procedimientos de medición no se encuentran contenidos en la Norma de la Secretaría, por lo que se tuvo que recurrir a textos de la FCC, adaptándolos a las necesidades del país y a la experiencia de mediciones - durante muchos años. El primero de ellos consiste en la medición de radiación en el plano horizontal para calcular la intensidad de campo aparente y característica de un sistema direccional, ya que la norma sólo contempla el procedimiento para sistemas omnidireccionales.

Otro de los métodos es el procedimiento para la medición de radiaciones no esenciales. El conocimiento de la existencia de radiaciones no esenciales - permite saber si se está interfiriendo en frecuencias diferentes a la de -- transmisión.

El siguiente procedimiento es la medición de los contornos protegido e interferente que determina si existen interferencias con otros elementos radiadores de estaciones vecinas geográficamente, así como de estaciones que operan en la misma frecuencia.

La última de las técnicas es la medición de la onda ionosférica, empezando por el ejemplo de cálculo de la intensidad de la señal de onda reflejada - expuesto en la norma, posteriormente se describe el procedimiento de medición propuesto. La medición de la onda ionosférica permite conocer las posibles interferencias durante el servicio nocturno de una radiodifusora.

Existen distintos procedimientos para llevar a cabo estos estudios, en los cuales puede variar el resultado final, pero los antes citados son aceptados por la SCT y han funcionado adecuadamente acordes a las necesidades del país.

Finalmente en esta tesis hay un anexo titulado Medidores de Intensidad de Campo Eléctrico, en donde se mencionan los principales medidores utilizados en la realización de estos estudios y se describen sus características técnicas, así mismo se hacen recomendaciones sobre los accesorios utilizados - en el trabajo de campo y gabinete.

CAPITULO I
CONSIDERACIONES TEORICAS

CAPITULO I. CONSIDERACIONES TEORICAS.

1.1. CARACTERISTICAS DE LA ONDA ELECTROMAGNETICA.

1.1.1. La onda electromagnética.

La energía se propaga en el espacio libre en forma de ondas electromagnéticas, se desplazan aproximadamente a la velocidad de la luz y consisten en campos magnético y eléctrico perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación, como se observa en la fig. 1-1. Dentro del espectro formado por las ondas electromagnéticas se encuentran las ondas de radio hacia las cuales se enfocará la teoría de esta tesis.

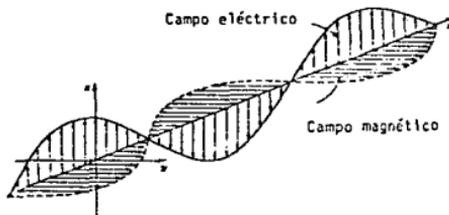


Fig. 1-1 ONDA ELECTROMAGNETICA EN EL ESPACIO LIBRE VISTA TRANSVERSALMENTE.

Con fines prácticos, se considera que la mitad de la energía contenida en la onda existe en forma de energía eléctrica, mientras que la otra mitad se encuentra en forma de energía magnética.

1.1.2. La onda electromagnética en el espacio libre.

Cuando no existen interferencias y obstáculos en el espacio, la onda - - -

electromagnética se propaga uniformemente en todas direcciones a partir de un punto de emisión; teóricamente el frente de onda es esférico, como se puede observar en la fig. 1.2., donde en el frente de onda P la onda se encuentra en una fase y en el frente de onda Q la onda tiene otra fase por ubicarse a diferente distancia del punto de radiación.

Para la realización de estudios de propagación de ondas de radio, el frente de onda se considera que está constituido por el plano que une a todos los puntos de idéntica fase. La onda siempre se propaga en dirección perpendicular al frente de onda.

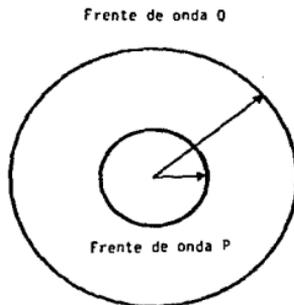


Fig. 1-2 FRENTE DE ONDA ESFERICO VISTO TRANSVERSALMENTE.

Si la distancia de la fuente al frente de onda Q es el doble de la de P, el área de la nueva esfera se hace cuatro veces más grande que la de radio P. Ahora, si la densidad de potencia se define como la cantidad de potencia por unidad de área, la densidad de potencia se reduce a un cuarto del valor original cuando la distancia hacia la fuente aumenta al doble, por lo que se deduce que la densidad de potencia es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente. Este concepto se aplica universalmente -

a todas las formas de radiación en el espacio libre y se expresa matemáticamente como:

$$P = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad \text{--- (1-1)}$$

donde

P = densidad de potencia a una distancia r de la fuente isotrópica.

P_t = potencia transmitida.

1.1.3. Radiador isotrópico y hemisférico isotrópico.

Una fuente isotrópica es aquella que radía uniformemente en todas direcciones del espacio. Sin embargo aunque no existe una fuente real que tenga esta propiedad, el concepto técnico de radiador isotrópico es frecuentemente empleado.

Si un radiador isotrópico es colocado en una superficie con conductividad perfecta, toda la energía será radiada en el hemisferio que esta sobre la superficie; este es el concepto de un radiador isotrópico hemisférico, que se aplica en radiadores situados sobre la superficie de la tierra.

1.1.4. Intensidad de campo eléctrico y magnético.

La intensidad de una onda de radio se mide en función de la intensidad de campo eléctrico que se produce en el espacio por efecto del campo electrostático de la onda y se expresa generalmente en microvolts por metro [uV/m] y milivolts por metro [mV/m]. Como la verdadera intensidad de campo producida en un punto del espacio por efecto de la onda de radio varía senoidalmente de instante en instante, se acostumbra considerar como intensidad de dicha onda el valor raíz cuadrático medio (rcm).

Las unidades del campo eléctrico y el campo magnético se dan en volts/metro

y ampers/metro respectivamente. Para circuitos eléctricos se tiene que - -

$V = ZI$, así para las ondas electromagnéticas:

$$E = LH \quad \text{-----} \quad (1-2)$$

donde

E = valor rcm de la intensidad de campo eléctrico [v/m]

H = valor rcm de la intensidad de campo magnético [A/m]

L = impedancia característica del medio [Ω]

La característica de la impedancia del medio se obtiene de:

$$L = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad \text{-----} \quad (1-3)$$

donde

μ = permeabilidad del medio

ϵ = permitividad eléctrica del medio

Para el espacio libre se tiene:

$$\mu_0 = 4 \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6} [\text{H/m}]$$

$$\epsilon_0 = 1/36 \times 10^9 = 8.854 \times 10^{-12} [\text{F/m}]$$

Con los valores de la permeabilidad y permitividad es posible calcular las características de impedancia en el espacio libre, de esta forma se tiene:

$$L = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-7}}{1/36 \times 10^9}} \cong 120\pi \cong 377 [\Omega] \quad (1-4)$$

así se puede calcular la intensidad de campo a una distancia r de la fuente isotrópica. Para un circuito eléctrico se tiene que $P = V^2/Z$ y para las ondas electromagnéticas $P = E^2/L$. Ahora despejando E y sustituyendo P por la ec. 1-1 y L por la ec. 1-4 se obtiene:

$$E = P \times L = \frac{Pt}{4\pi r^2} \times 120\pi \cong \frac{30 Pt}{r^2}$$

$$E \cong \sqrt{\frac{30 Pt}{r}} \quad \text{-----} \quad (1-5)$$

La intensidad del campo eléctrico esta dada por esta ecuación.

1.1.5. Frecuencia.

Las ondas de radio producidas por corriente alterna varían de intensidad -- con la frecuencia de la corriente y son por lo tanto alternativamente positivas y negativas. La distancia ocupada por un ciclo completo de dicha onda alterna es igual a la velocidad de la onda dividida entre el número de ciclos que se emiten en cada segundo, y recibe el nombre de longitud de onda. En consecuencia, la relación entre la longitud de onda (λ) expresada en -- metros y la frecuencia (F) en ciclos por segundo o hertz es:

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad \text{----- (1-6)}$$

Para el espacio vacío $V = 3 \times 10^8$ [m/s], que es la velocidad de la luz, -- generalmente se expresa la frecuencia en Kiloherz [KHz], Megahertz [MHz], ó Gigahertz [GHz].

Generandose una longitud de onda por cada ciclo de frecuencia, se puede ha-- cer corresponder cada longitud de onda a 360° eléctricos y usar el gra-- do eléctrico como unidad de longitud física que guarda una relación defini-- da con la logitud de onda, el conocimiento de esta relación es importante -- para el desarrollo de los cálculos de propagación descritos en el capítulo III.

1.1.6. Polarización.

La dirección del campo eléctrico determina la polarización de la onda. -- Cuando el plano que contiene al campo eléctrico y la dirección del vector eléctrico son verticales con respecto a la superficie de la tierra, la on-- da se dice que está polarizada verticalmente, como se puede observar en la fig. 1-3a; mientras que en la fig. 1-3b está polarizada horizontalmente.

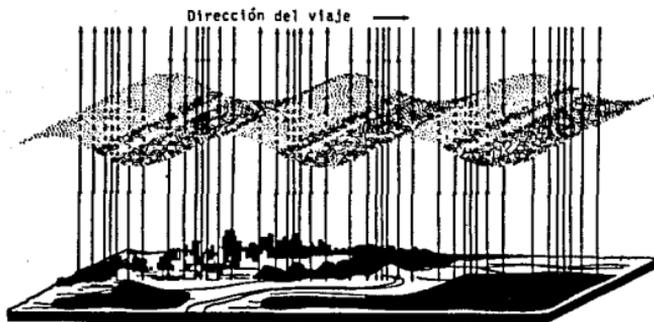


Fig. 1-3a POLARIZACION VERTICAL.



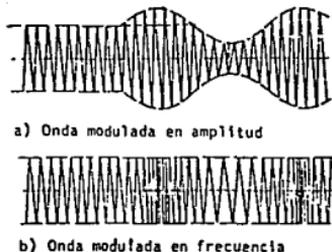
Fig. 1-3b POLARIZACION HORIZONTAL.

1.1.7. Control de la onda de radio.

La transmisión de información con ondas de radio requiere el empleo de algún medio para su control. En la radiodifusión comercial los métodos utilizados son la modulación en amplitud (AM) y la modulación en frecuencia (FM). En la transmisión de ondas de radio moduladas en AM, la radiofrecuencia varía en concordancia con la amplitud de la onda a transmitirse, como se observa en la fig. 1-4a.

También se puede mantener la frecuencia constante y variar la frecuencia de la onda radiada en concordancia con la información, obteniéndose así, la modulación en frecuencia. De esto resulta una onda como la que se muestra en la fig. 1-4b, en comparación con la correspondiente onda modulada en AM de la fig. 1-4a.

Fig. 1-4



1.1.8. Recepción de las señales de radio.

Para la recepción de las señales de radio es necesario primero captar energía de las ondas de radio que pasan por el punto de recepción. Una vez -- hecho esto, el radioreceptor debe en primer término, separar la señal deseada de las otras que puedan estar presentes y reproducir luego la inteligencia original de las ondas de radio al ser demoduladas. Además se proveen generalmente de dispositivos para la amplificación de la energía recibida, de tal manera que la salida del radioreceptor pueda ser mayor que la energía captada de la onda. Una antena capaz de radiar energía eléctrica es capaz también de sustraer energía de una onda que se propaga, ya que el -- flujo electromagnético de la onda al cortar el conductor de la antena, -- induce una tensión que varía con el tiempo exactamente en la misma forma -- que lo hace la corriente circulante en la antena que radia la onda. La energía representada por la corriente que circula en la antena receptora es sustraída de la onda en propagación y será máxima cuando la reactancia del sistema se reduzca al mínimo haciendo resonar al circuito de antena a la -- frecuencia de onda recibida.

Como todas las ondas pasan por la antena receptora inducen su propia tensión en el conductor de la antena, es necesario que el equipo receptor sea capaz de separar la señal deseada de las indeseadas, las que también inducen tensiones en la antena. Se hace esta separación en base a la diferencia de frecuencias entre las estaciones transmisoras, lográndose ello en base a circuitos resonantes, los cuales discriminan marcadamente otras frecuencias a favor de una frecuencia particular. La capacidad para discriminar las ondas de radio de diferentes frecuencias se llama selectividad y el proceso -- de ajustar los circuitos hasta la resonancia con la frecuencia de la señal

deseada se denomina sintonía.

El proceso por medio del cual la señal que se transmite es reproducida por las corrientes de radiofrecuencia presentes por el receptor se denomina detección, o también demodulación. Cuando la inteligencia se transmite variando la amplitud de la onda radiada, la detección se realiza rectificando las corrientes de radiofrecuencia. La corriente rectificada así producida varía en concordancia con la señal originalmente modulada en la onda radiada por el transmisor y en esa forma se reproduce la señal original. Luego, cuando la onda modulada indicada en la fig. 1-5a se rectifica, resulta una corriente como la indicada en la fig. 1-5b y se observa que tiene un valor medio que varía en concordancia con la amplitud de la señal original.

Fig. 1-5

a) Onda de radio modulada por una vibración sonora.

Amplitud de la portadora



b) Onda modulada después de la rectificación

Valor medio



1.1.9. Naturaleza de la onda modulada.

Una onda modulada no representa una simple oscilación senoidal, sino más -- también una oscilación en la cual alguna característica generalmente la amplitud o la frecuencia, varían en concordancia con la inteligencia que se va a

transmitir. Resulta así que una onda modulada consiste en realidad en varias ondas de frecuencia apenas diferentes y superpuestas.

La onda modulada en forma senoidal consta de tres ondas senoidales separadas. La primera de estas recibe el nombre de portadora; donde la amplitud es independiente de la presencia o ausencia de modulación y es igual al valor medio de la amplitud de onda, el cual es independiente del grado o porcentaje de modulación. Las otras dos componentes son similares en lo que a amplitud se refiere, pero la frecuencia de una de ellas es menor que la frecuencia de la portadora en una cantidad igual a la frecuencia de la modulación, mientras que la frecuencia de la segunda es mayor que la de la portadora en la misma cantidad. Estos dos componentes se llaman frecuencias de bandas laterales y son las que llevan la inteligencia que se transmite en la onda modulada. La frecuencia en que difieren las bandas laterales de la portadora representa la frecuencia de modulación, mientras que la amplitud de las componentes de las bandas laterales en relación con la amplitud de la portadora determina el grado de modulación.

1.2. FORMAS DE PROPAGACION DE LA ONDA ELECTROMAGNETICA.

1.2.1. Propagación de la onda.

El estudio de la propagación de la onda electromagnética, es el estudio de la trayectoria que sigue una onda a partir de la antena transmisora hasta la antena receptora. Se considera que la atmósfera y la tierra no son uniformes, cambiando las condiciones de la atmósfera con la altura, localización geográfica y tiempo, mientras que las condiciones de la tierra cambian con las características eléctricas de la superficie en donde se propaga la onda.

La atmósfera está dividida en tres capas principales, tropósfera, estratós-

fera e ionósfera; su posición se muestra en la fig. 1-6. La ionósfera es la capa que más afecta la propagación de ondas de radio, por lo que posteriormente se describirán sus principales características.

1.2.2. Clasificación de las frecuencias.

Las frecuencias se clasifican en bandas de acuerdo a sus características de propagación. Esta clasificación se muestra en la tabla 1-1.

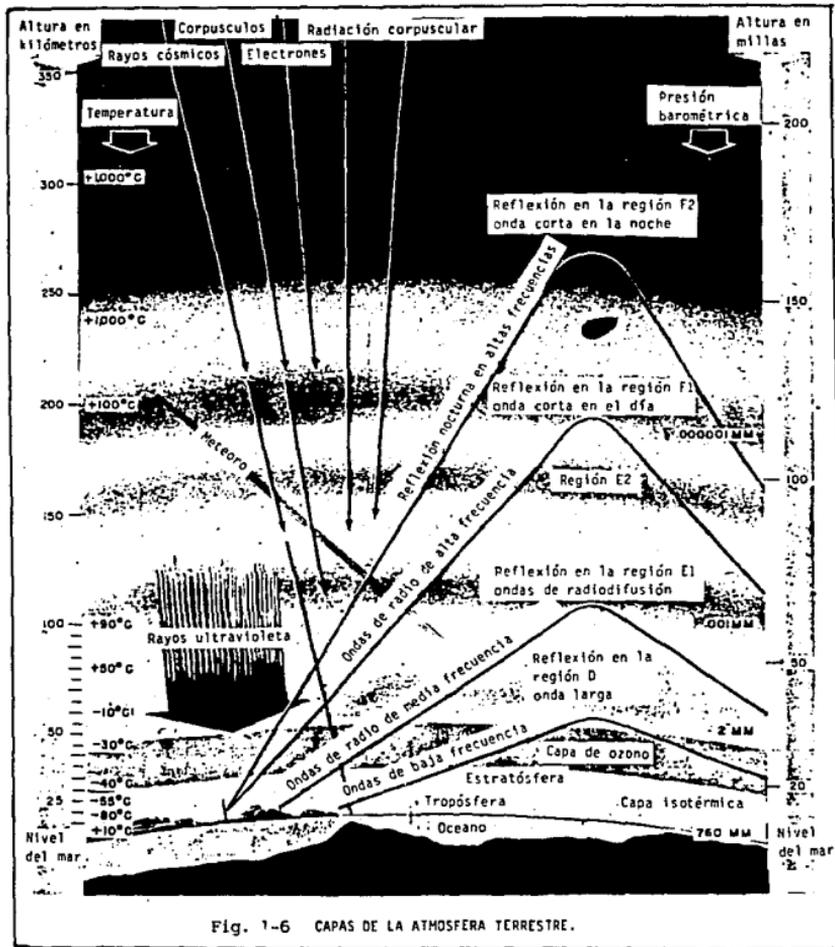
Tabla 1-1

Clasificación de las radiofrecuencias.

Frecuencia (MHz)	Descripción	Abreviación
abajo de 0.03	Frecuencia muy baja	VLF
0.03 a 0.3	Frecuencia baja	LF
0.3 a 3	Frecuencia media	MF
3 a 30	Frecuencia alta	HF
30 a 300	Frecuencia muy alta	VHF
300 a 3,000	Frecuencia ultra alta	UHF
3,000 a 30,000	Frecuencia super alta	SHF
30, 000 a 300,000	Frecuencia extremadamente alta	EHF

1.2.3. Propagación en la atmósfera.

Hay dos caminos principales por los cuales las ondas de radio viajan. Uno - de ellos es por medio de la onda de tierra, que viaja directamente del - - transmisor al receptor por la superficie de la tierra, el otro camino es --



por medio de la onda de cielo, en la que el viaje depende de las condiciones eléctricas de las capas de la atmósfera (la ionósfera), que reflejan la señal cerca o lejos del sitio de transmisión.

La propagación por onda de tierra es en parte afectada por las características eléctricas del suelo, el agua y la difracción de la onda con la curvatura de la tierra.

La propagación por onda de cielo depende del grado de ionización de la ionósfera ya que es cambiante; de este modo los efectos de la reflexión y refracción afectan notablemente la onda de cielo.

1.2.3.1. Reflexión.

La reflexión de una onda de radio se considera que es semejante a cualquier tipo de onda. Para un instante de tiempo, cuando una onda de radio cae sobre una superficie esta onda es reflejada, la eficiencia con que se refleja depende del material del medio de reflexión. Las superficies planas y metálicas tienen buena conductividad, son eficientes reflectores de ondas de radio.

La fig. 1-7 muestra un frente de onda plano reflejado por una superficie plana, se puede observar que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión pero opuesto. Por lo tanto al incidir el frente de onda A-A1 en la superficie reflectora, aparece un frente de onda B-B1 defasado 180°. La razón de esto es porque en el punto X la onda incidente llega a la superficie de reflexión antes que en el punto Y y es reflejada al punto X1, durante el tiempo que toma en llegar el frente de onda del punto Y al punto Y1 - hay un cambio de fase que se indica en la fig. 1-7.

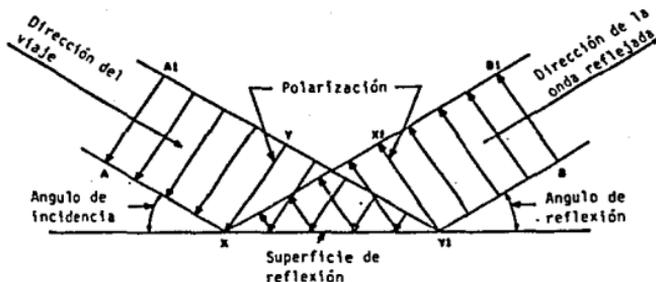


Fig. 1-7 REFLEXION DE UN FRENTE DE ONDA PLANO.

1.2.3.2. Refracción.

Si una onda de radio es dirigida sobre una superficie plana de agua, una cantidad de la onda se refleja, quedando una parte que penetra el agua, como se muestra en la figura 1-8. El fenómeno por el cual las ondas penetran en el agua y sufren un cambio de trayectoria se le conoce como refracción; el cambio se produce debido a la diferente densidad de los medios en los que viaja la onda. Por lo tanto en la fig. 1-8, la dirección de viaje de la onda refractada es diferente que para el rayo incidente en la superficie del agua. La fig. 1-9 muestra como ocurre este cambio de dirección, las líneas paralelas de la figura representan el frente de onda de la onda de radio suponiendo que el frente de onda es una superficie de igual fase y perpendicular a la dirección del viaje de la onda.

Considerando el frente de onda A-A1 de la fig. 1-9 una parte es refractada por el agua. Como la velocidad de la luz es menor en el agua que en el aire el punto marcado con A avanza la distancia d_1 en un espacio de tiempo y el punto marcado con A1 viaja a una distancia mayor en el mismo tiempo, después los dos puntos se mueven igual y como resultado el frente de onda

adquiere una nueva dirección.

El rayo original se llama incidente y el obtenido refractado, el valor de la desviación que sufre el rayo refractado se le conoce como índice de refracción.

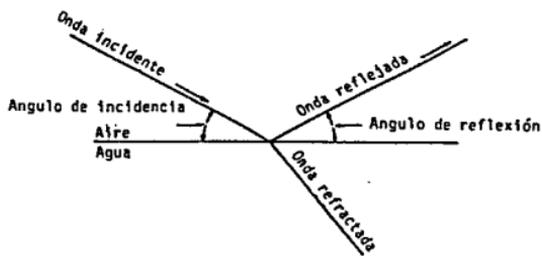


Fig. 1-8 REFLEXION Y REFRACCION DE UNA ONDA.

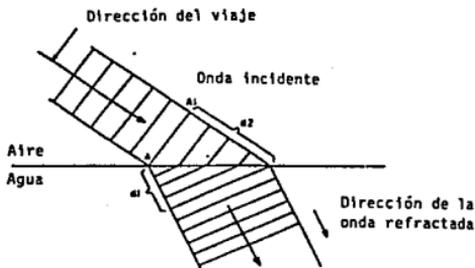


Fig. 1-9 CAMBIO DE TRAYECTORIA DE UN FRETE DE ONDA POR REFRACCION.

1.2.3.3. Difracción.

Es el cambio de trayectoria de una onda de radio en la orilla ó filo de un objeto sólido, el cambio depende de la frecuencia de la onda siendo más acentuado en las bajas frecuencias debido a que su longitud de onda es grande y pueden envolver obstáculos fácilmente. Por lo tanto las ondas de radio son más fácilmente difractadas que las ondas de luz y las ondas sonoras se difractan más que las de radio. La fig. 1-10 ilustra este fenómeno y ayuda a explicar porque las ondas de radio de una frecuencia apropiada pueden ser recibidas más allá de un cerro u obstáculo natural.

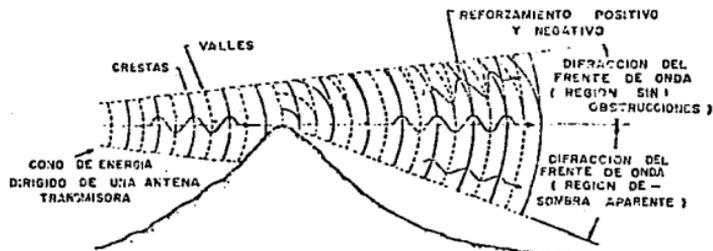


Fig. 1-10 DIFRACCION DE UNA ONDA DE RADIO.

1.2.4. Propagación de la onda de tierra.

La propagación por onda de tierra está referida a aquellos tipos de transmisiones que no involucran la onda ionosférica. Por lo tanto la intensidad de campo de la onda de tierra depende de otros factores como son la potencia de transmisión, las características de la antena de transmisión, la frecuencia de la onda, la difracción de la tierra, las características eléctricas (conductividad y constante dieléctrica) de el terreno local, la naturaleza de la trayectoria de transmisión y también las condiciones metereoo-

lógicas locales como la distribución del vapor de agua contenido en la atmósfera. Además la tierra por sí sola es un semiconductor y cuando una onda entra en contacto con su superficie, parte de la energía radiada es absorbida rápidamente, por lo tanto la pérdida en la transmisión por onda de tierra es algunas veces excesiva y su uso es generalmente limitado a comunicaciones en distancias moderadas, aplicadas a bajas frecuencias y excepcionalmente a altas frecuencias.

La fig. 1-11 muestra la forma en la cual la onda de tierra toma una dirección o es reflejada en el camino del transmisor al receptor o puede ser conducida por la superficie de la tierra y también refractada en la tropósfera. La onda de tierra, por lo consiguiente se le considera constituida por varias componentes: la onda directa, la onda reflejada por la tierra, la onda de superficie y la onda troposférica.

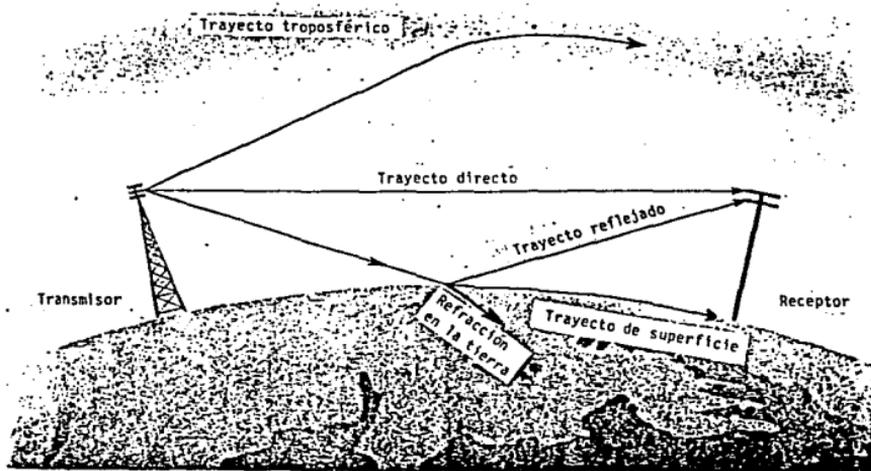


Fig. 1-11) POSIBLES TRAYECTOS DE LA ONDA DE TIERRA.

1.2.4.1. Componente de onda directa.

La onda directa es la componente del frente de onda que viaja directamente de la antena transmisora a la antena receptora. Se limita sólo por la distancia al horizonte o línea de vista, tomando en cuenta la difracción que ocurre en la atmósfera que circunda la tierra. La distancia total limitante, se calcula suponiendo a la tierra con un radio de $4/3$.

Otro aspecto por considerar es que la intensidad de campo eléctrico de la onda directa varía inversamente con la distancia de transmisión.

1.2.4.2. Componente de reflexión por la tierra.

Es la componente de la onda radiada que es recibida por la antena receptora después de haber sido reflejada por el suelo o mar. Durante el proceso de reflexión en la superficie de la tierra, la onda reflejada pasa por una fase de inversión de 180° , este hecho es importante considerarlo debido al efecto de la combinación con la componente de onda directa en el punto de recepción, que puede ocasionar la posible anulación de las dos componentes. En la fig. 1-12, se observa que las dos ondas de salida con frente de onda igual, continúan en fase descendiendo una de ellas al punto de reflexión en la superficie de la tierra; más allá de este punto los frentes de onda se encuentran 180° fuera de fase uno de otro. Cuando la componente reflejada a tierra llega al suelo con un ángulo de incidencia bajo, sufre un retraso de tiempo pequeño, la onda reflejada llegará a la antena receptora defasada aproximadamente 180° con respecto a la onda directa, cancelándose entre sí cuando la antena transmisora y la antena receptora se encuentran aproximadamente a la misma altura, predominando la onda de superficie.

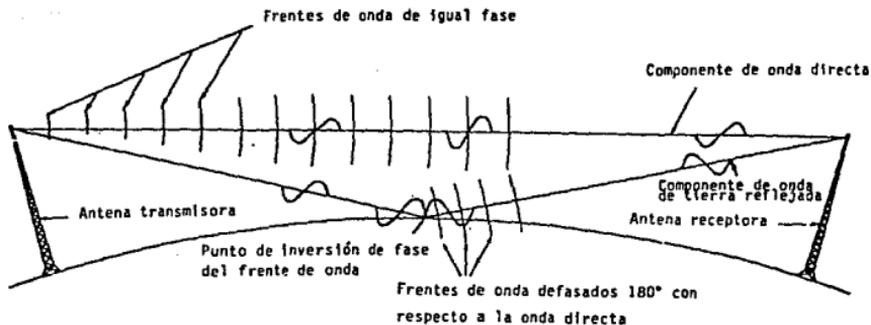


Fig. 1-12 COMPARACION DE LOS FRENTES DE ONDA DIRECTO Y REFLEJADO.

1.2.4.3. Componente de onda troposférico.

La onda troposférica es aquella componente del frente de onda que es refractada en la atmósfera inferior por cambios rápidos de la humedad con respecto a la altura y algunas veces por cambios en la densidad y la temperatura. En alturas de varios miles de kilómetros, enormes masas de aire tibio y - - frío, se encuentran cercanas unas de otras causando diferencias abruptas en la temperatura y cambios en la densidad. La causa común de refracción troposférica es la inversión de la temperatura; esta es resultado de varios -- factores: una masa de aire caliente invade a una fría, el descender de una masa de aire calentado por compresión, el rápido enfriamiento de aire en la superficie despues de anochecer y el calentamiento del aire sobre una capa de nubes por reflexión de rayos solares en la superficie de las nubes. Los efectos de la propagación troposférica dependen de las condiciones ambientales y como estas varían constantemente, hace que se produzcan intensidades de campo variables con el tiempo.

En algunas partes del mundo ciertas condiciones pueden prevalecer por largos periodos. En los trópicos y sobre grandes extensiones de agua, la inversión de la temperatura se presenta casi continuamente hasta una altura de 915 metros, pero particularmente entre 30.5 y 91.5 metros. Cuando el ángulo de inversión es agudo, las ondas viajan horizontalmente o a muy bajos ángulos de elevación, son atrapadas por la capa de refracción del aire y -- continúan hasta ser reflejadas de regreso a la tierra. Una onda atrapada si gue un conducto y son guiadas a lo largo de este conducto de la misma manera que por un conductor metálico, por lo que la energía no se atenúa con el inverso del cuadrado de la distancia. Por lo tanto, la onda sigue la curvatura de la tierra hasta distancias lejanas mas allá del horizonte. Cabe señalar que para fines de cálculo de la onda de tierra la componente -- troposférica no se considera porque su aparición en la atmósfera es esporádica.

1.2.4.4. Componente de onda de superficie.

Es la componente de la onda de tierra que está afectada principalmente por la conductividad y la constante dieléctrica de la tierra y es capaz de seguir la curvatura de la misma. También la atenuación es función de la frecuencia de la onda siendo mayor a medida que se aumenta la frecuencia.

Cuando las componentes de onda directa y onda reflejada por la tierra se -- cancelan, la intensidad de campo resultante es principalmente la onda de su perficie. Como la energía radiada es absorbida por el suelo, la intensidad eléctrica de la onda de superficie se atenúa considerablemente, la atenuación depende de la conductividad relativa de la superficie en la cual viaja

la onda. La tabla 1-2 indica la conductividad relativa de varios tipos de superficies, dadas en Siemens por metro.

Tabla 1-2.

Conductividad relativa de varios tipos de superficie.

Tipo de terreno	Constante dieléctrica	Conductividad (S/m)
Agua de mar	81	5.0
Agua dulce	80	0.01
Tierras de pastoreo, colinas bajas, terrenos fecundos	20	0.01
Tierras de pastoreo, colinas medianas, montes	13	0.005
Terrenos rocosos, arenosos	12	0.002
Ciudades, zonas industriales	5	0.001

La componente de la onda de superficie generalmente se transmite polarizada verticalmente debido a que la tierra tiene un efecto de corto circuito en la intensidad eléctrica de una onda polarizada horizontalmente, al contrario de la polarización vertical en la que el efecto es un circuito abierto. Como ninguna superficie es un conductor perfecto, la pérdida retrasa el borde inferior del frente de onda, causando que tenga una inclinación hacia adelante. Las superficies de baja conductividad causan altas pérdidas, -- gran inclinación y finalmente total absorción de energía.

1.2.4.4.1. Propagación de la onda de superficie.

Los efectos del terreno son los debidos a la topografía o a las características eléctricas de la superficie de la tierra y se manifiestan en todo el espectro de frecuencias radioeléctricas.

Cuando las ondas radioeléctricas se propagan sobre el terreno o através de el, las características de propagación están determinadas:

- por las propiedades eléctricas del terreno.
- por la configuración física de la superficie del terreno, incluyendo la - vegetación y las estructuras edificadas por el hombre de dimensiones arbitrarias.

Las características eléctricas del terreno tienen importancia principalmente en frecuencias inferiores a unos 10 [MHz].

1.2.4.4.2. Características eléctricas del suelo.

Las características eléctricas del suelo o de cualquier otro medio pueden - expresarse por tres componentes: la permeabilidad relativa, la constante -- dieléctrica y la conductividad. Puede considerarse que la permeabilidad relativa es normalmente igual a la unidad, y por lo tanto, en los problemas de propagación no intervienen más que la constante dieléctrica y la conductividad.

1.2.4.4.3. Factores que influyen en el valor de las constantes del suelo.

Los valores efectivos de las constantes del suelo dependen no solamente de la naturaleza de este último, sino también de su grado de humedad y de su - temperatura. Los demás factores que intervienen son la frecuencia, la es- -

estructura geológica general del terreno, la profundidad de penetración efectiva y la dispersión lateral de las ondas. También es necesario tener en cuenta la absorción de la energía por la vegetación, edificios y demás obstáculos existentes en la superficie del suelo.

1.2.5. La ionósfera.

La tierra está circundada por una capa eléctrica llamada ionósfera la cual actúa como reflector y evita el escape de las ondas de radio a el espacio libre por la reflexión que hace que la onda regrese a tierra.

Como se indicó en la fig. 1-6 la atmósfera de la tierra se extiende a distancias mayores de 400 Kilómetros. La densidad de los gases que componen la atmósfera se reduce con la altura, de esta forma sobre 400 Kilómetros las partículas de aire son raras hasta que son prácticamente inexistentes. Asimismo se indica en la fig. 1-6 el constante bombardeo al que es expuesta la atmósfera por radiación, partículas solares y rayos cósmicos; la radiación solar incluye todas las componentes del espectro, que van de los rayos infrarrojos a los ultravioleta y partículas compuestas por positrones y electrones moviendose casi a la velocidad de la luz. Estas diferentes formas de radiación alcanzan ciertos niveles críticos donde los gases son de tal densidad que son particularmente susceptibles a la ionización, formándose capas ionizadas en estos niveles.

1.2.5.1. Efectos de las manchas solares en la ionósfera.

En el sol existen elementos en estado activo, por la intensa agitación interna y juego de fuerzas atómicas en grandes escalas, por lo que el sol emite grandes cantidades de energía en forma de calor, partículas y ondas electromagnéticas. Otro disturbio en la superficie solar es la aparición de manchas solares, las cuales tienen efectos particulares en el total de las radiaciones ultravioleta.

Durante periodos de elevada aparición de manchas solares, la ionización en varias capas de la ionósfera es mayor. Las manchas solares son áreas oscuras que aparecen en la superficie solar, la oscuridad relativa podría indicar baja temperatura y menor radiación, pero tienen nubes brillantes de gases cerca de ellas y el proceso de erupciones en la formación de manchas solares produce vastas cantidades de energía electromagnética. Las manchas solares comúnmente aparecen en grupos y siguen aproximadamente un ciclo de actividad con promedios de intervalos de 11.1 años, como se muestra en la fig. 1-13.

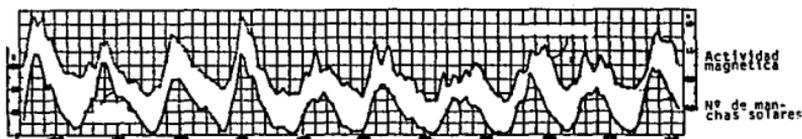


Fig. 1-13 ACTIVIDAD GEOMAGNETICA Y NUMERO DE MANCHAS SOLARES.

1.2.5.2. Capas de la ionósfera.

Por medio de estudios de sondeo ionosférico se ha determinado que hay cuatro distintas capas en la ionósfera, las cuales se denominan en función de la altura y densidad; capas D, E, F1 y F2. La distribución relativa de estas capas en la tierra se indica en la fig. 1-14, se puede observar que -- las capas aparecen sólo durante el día. Por la noche las capas F1 y F2 parecen fundirse en una sola capa F y las capas D y E se desvanecen por la re combinación de los iones que las componen.

Capa D. Aproximadamente entre 50 y 90 Kilómetros arriba de la superficie de la tierra, se encuentra la primera región en donde se produce la ionización, a esta capa se le designa como D. En comparación con las condiciones existentes en las capas a grandes alturas la ionización en la región D no es muy elevada y tiene pocos efectos principalmente en ondas de alta frecuencia; los principales efectos de la ionización en esta región son el -- aumento o disminución de la intensidad de campo de las ondas de radio en -- altas frecuencias a medida que la trayectoria de transmisión de tales frecuencias atraviesa esta región. La capa D existe sólo durante el día y su intensidad sigue la variación de la altitud del sol, haciéndose más densa en la noche y desvaneciéndose poco después de la puesta del sol, por la -- rápida recombinación de iones.

Capa E. En alturas entre 90 y 145 kilómetros descansa la segunda región, -- llamada capa E. Esta capa algunas veces es conocida como región Kennelly -- Heaviside. La altura de la capa varía algunas veces con la estación del a--ño. La recombinación es grande en este nivel atmosférico y la intensidad de ionización en la capa E sigue de cerca las variaciones de la altitud del -- sol, alcanzando el máximo por la noche. El número de electrones por unidad

de volumen en esta capa generalmente es suficiente para refractar a la tierra las ondas de radiofrecuencia tan altas como 20 [MHz], siendo la capa E una area importante para las transmisiones de radio a distancias mayores, aproximadamente a 2400 kilómetros. Para distancias más grandes la transmisión por este medio es mala, debido a que el ángulo de salida de la onda es pequeño con respecto a la vertical dando como resultado una gran absorción en el suelo.

Capa F. En alturas entre 145 y 380 kilómetros esta situada la capa F. La ionización existe constantemente, normalmente con dos capas bien definidas durante el día y una durante la noche. Por la noche la capa F se encuentra a una altura de 270 kilómetros, la atmósfera es muy rara a estas alturas, la recombinación de iones es baja y los restos de iones durante la noche refractan ondas de alta frecuencia de regreso a la tierra.

Capas F1 y F2. Durante el día, especialmente cuando el sol llega a su mayor altura sobre la superficie de la tierra, como es el caso de las latitudes tropicales y durante los meses de verano la región F se divide en dos capas distintas, la F1 y la F2. La capa F1 tiene un límite inferior a una altura de 145 kilómetros y la F2 un límite inferior de 250 a 350 kilómetros, dependiendo de la estación del año y la hora del día. La capa F2 es la más altamente ionizada de todas las capas y es la de uso más común para radiocomunicaciones a grandes distancias, principalmente en comunicaciones con altas frecuencias. La intensidad de ionización alcanza el máximo por la tarde y descende gradualmente durante la noche.

Otras capas. Complementario a las regiones que se han mencionado aparecen otras capas en forma adicional, particularmente en alturas cercanas a la capa E; frecuentemente su intensidad es suficiente para una buena transmisión de radio, pero pueden ser perjudiciales por la gran absorción que causan.

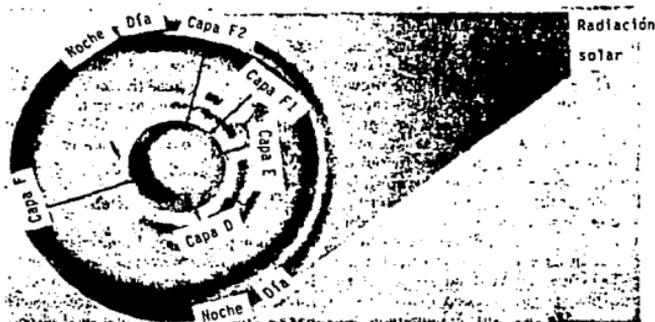


Fig. 1-14 CAPAS Y REGIONES DE LA IONOSFERA.

1.2.6. Propagación de la onda de cielo.

La propagación de la onda de cielo está referida a los tipos de radio transmisión que utilizan la reflexión de la ionósfera para radiocomunicación entre el transmisor y receptor. La transmisión por onda de cielo es un medio importante para lograr la comunicación a grandes distancias, esta forma de propagación presenta innumerables problemas los cuales se pueden resolver a través del conocimiento de los principios involucrados.

Es importante mencionar que para las transmisiones con ondas hectométricas la onda de cielo se considera presente sólo durante la noche, prevaleciendo la componente de superficie de la onda de tierra durante el día.

1.2.6.1. Trayectorias de transmisión de la onda de cielo.

La fig. 1-15 ilustra algunas de las muchas posibles trayectorias de las ondas de radio que viajan del transmisor al receptor, transmitidas por reflexión de una capa electricamente conductora en la ionósfera. Se observa que algunos frentes de onda pasan a través de la ionósfera y se pierden en el eg

pacio libre. Otros frentes de onda tienen la frecuencia correcta para ser reflejados por la ionósfera proporcionando comunicación eficiente. Nótese también que la distancia de salto depende de la densidad de iones de la capa ionosférica justo en la zona de reflexión y la frecuencia de la onda. La distancia de salto no debe confundirse con la zona de salto, ya que la zona de salto depende de la extensión de la onda de tierra.

1.2.7. Intensidad de señal requerida.

La mínima intensidad de campo necesaria para permitir la recepción satisfactoria de una señal inteligible de un tipo particular en presencia de ruido, se llama intensidad de señal requerida. Esta depende del lugar de recepción, el ruido local o parásitos atmosféricos, el tipo de modulación y el tipo de servicio. El ruido también varía dependiendo del día, año, etc.

1.2.8. Tipos de ruido.

El ruido radioeléctrico se define como interferencia, energía que no corresponde a un ancho de banda de frecuencias. Existen dos tipos generales de ruido y se clasifican en:

-Ruido de impulso. Esta interferencia es el resultado de un sólo elemento de disturbio.

-Ruido casual o fluctuante. Es causado por un gran número de elementos de disturbio.

El ruido radioeléctrico hecho por el hombre causado por la operación de equipo eléctrico se le considera como ruido de impulso y el ruido atmosférico causado por descargas eléctricas u otras condiciones, se le considera como ruido casual.

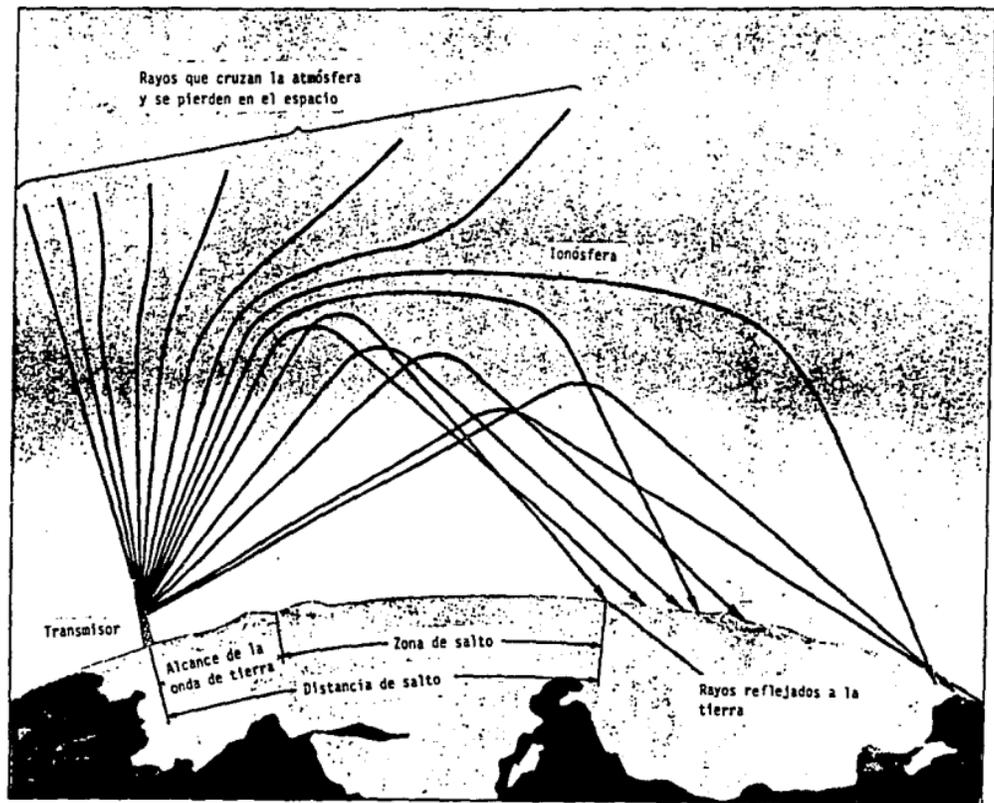


Fig. 1-15 VARIOS TRAYECTOS DE LA TRANSMISIÓN POR ONDA DE CIELO.

1.3. ANTENA DE RADIODIFUSION DE ONDA MEDIA.

1.3.1. Antenas estandar de referencia.

El radiador uniformemente omnidireccional o isotrópico en el espacio libre, se toma como antena de referencia porque no tiene directividad, este se muestra en la fig. 1-16 y se define como una antena teórica que radía ondas de la misma intensidad de campo en todas direcciones, como se mencionó anteriormente. Un radiador con estas características no puede ser real porque las antenas de radio tienen propiedades direccionales.

Para 1 [Kw] de potencia radiada un radiador isotrópico produce una intensidad de campo de:

$$E_g = 107.6$$

donde E_g es la intensidad de campo sin atenuar a 1 milla para 1 [Kw] en [mV/m]. Todas las demás antenas pueden compararse con el radiador isotrópico, aunque este estandar básico no se puede realizar en la práctica.

Para una fuente de potencia hemisférica dada, el flujo de potencia es dos veces la intensidad de un radiador uniforme en el espacio libre, por lo tanto la ganancia en potencia es 2. Para este caso, la ganancia de intensidad de campo es $\sqrt{2}$, por lo que la intensidad de campo es $107.6 \sqrt{2}$ ó

$$E_g = 152.1$$

donde E_g es la intensidad de campo sin atenuar a 1 milla para 1 [Kw] en [mV/m]. Un modelo de este estandar se observa en la fig. 1-17. Este estandar es semejante a las antenas de radiodifusión de onda media y puede ser considerado para determinar la directividad de antenas localizadas en la superficie de la tierra.

Fig. 1-16

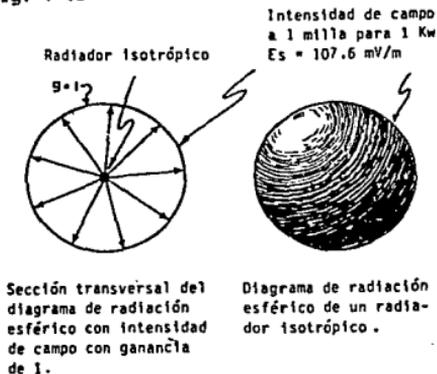
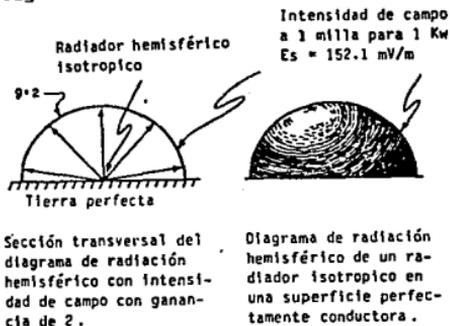


Fig. 1-17



1.3.2. Antena en el espacio libre.

El radiador o antena más simple es el dipolo elemental el cual se muestra en la fig. 1-18 y consiste en un conductor de longitud muy pequeña en comparación con la longitud de onda, la corriente a lo largo del dipolo se puede considerar igual en todas partes del mismo.

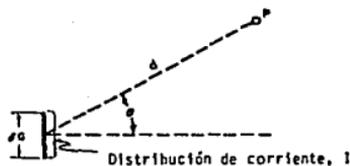


Fig. 1-18 CORRIENTE ELECTRICA EN
UN DIPOLO DE LONGITUD G Y CO-
RRIENTE I

La intensidad de campo a una distancia P en el espacio está dada por:

$$E = \frac{60\pi}{d} I (G) \cos \theta \quad \text{-----} \quad (1-7)$$

ó

$$E = \frac{60}{dc} I (G) \cos \theta \quad \text{-----} \quad (1-8)$$

donde

E = intensidad de campo en $[V/m]$ en el punto P .

π = 3.1416

d = distancia en $[m]$ de la antena al punto P .

λ = longitud de onda de la onda radiada en $[m]$.

c = 3×10^8 $[m/s]$ (velocidad de la luz).

I = corriente efectiva, en $[A]$ alimentada a la antena.

G = longitud de la antena, en $[m]$.

θ = ángulo de elevación al punto P , medido para un plano perpendicular a la antena.

Cuando la antena elemental radia 1 $[kw]$ de potencia la intensidad de campo a 1 milla es:

$$E = E_0 \cos \theta \quad \text{-----} \quad (1-9)$$

ó

$$E = 131.8 \cos \theta \quad \text{-----} \quad (1-10)$$

donde

E = intensidad de campo sin atenuar, en [mV/m] a 1 milla, con 1 [Kw].

E_0 = intensidad de campo en [mV/m] medida en un plano perpendicular a la antena y en este caso a distancia de 1 milla, con una potencia radiada de 1 [Kw].

θ = ángulo de elevación, mostrado en la fig. 1-18.

El valor de 131.8 es la máxima intensidad de campo, que es constante en el plano horizontal, como se muestra en la fig. 1-19.

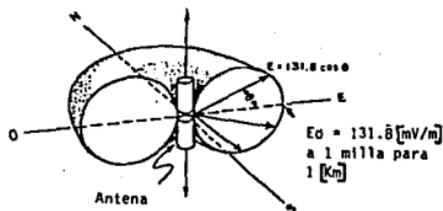


Fig. 1-19 SECCION TRANSVERSAL DEL DIAGRAMA DE RADIACION DE UNA ANTENA VERTICAL.

1.3.3. Antena vertical sobre una superficie perfectamente conductora.

Si una antena vertical es colocada en la superficie de la tierra con una conductividad perfecta, la radiación es hemisférica, como se muestra en la fig. 1-20.

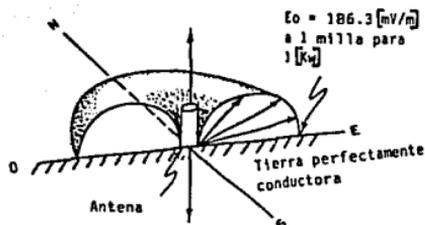


Fig. 1-20 SECCION TRANSVERSAL DEL DIAGRAMA DE RADIACION DE UNA ANTENA VERTICAL SOBRE UNA SUPERFICIE PERFECTAMENTE CONDUCTORA

Cuando la antena vertical radia 1 [kW] de potencia, la intensidad de campo a 1 milla es:

$$E = 131.8 \sqrt{2} \cos \theta \quad \text{-----} \quad (1-11)$$

o

$$E = 186.3 \cos \theta \quad \text{-----} \quad (1-12)$$

donde E y θ se definieron anteriormente.

1.3.4. Antena de onda media en el espacio libre.

Una antena de onda media en el espacio libre, esencialmente tiene una distribución de corriente senoidal como la mostrada en la fig. 1-21. El efecto de radiación de la antena está dado por la ec. 1-8; se pueden sumar los efectos para la totalidad del elemento radiador y la intensidad de campo entonces queda dada por:

$$E = \frac{137.8 \cos(90 \text{ sen } \theta)}{\cos \theta} \quad \text{-----} \quad (1-13)$$

donde E y θ se definieron con anterioridad.

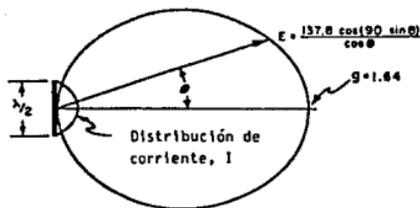


Fig. 1-21 SECCION DEL DIAGRAMA DE RADIACION VERTICAL DE UNA ANTENA DE ONDA MEDIA.

Este tipo de antena tiene una longitud de media onda siendo la más utilizada en la experimentación. Algunas veces es utilizada en la práctica pero no es muy usual ya que para las frecuencias de radiodifusión, principalmente en --AM se requeriría de antenas excesivamente elevadas.

1.3.5. Antena vertical de un cuarto de longitud de onda en una tierra perfectamente conductora.

Este tipo de antena se utiliza comunmente en radiodifusión. Con una distribución de corriente senoidal mostrada en la fig. 1-22, la radiación está dada por:

$$E = \frac{194.9 \cos(90 \sin \theta)}{\cos \theta} \quad \text{-----} \quad (1-14)$$

donde E y θ han sido definidos y se muestran en la fig. 1-22.

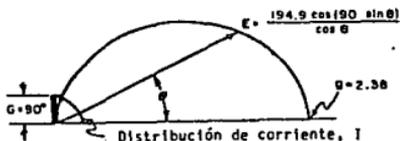


Fig. 1-22 SECCION DEL DIAGRAMA DE RADIACION VERTICAL DE UNA ANTENA DE UN CUARTO DE ONDA.

La mayor parte de las antenas de radiodifusión tienen esta altura porque se obtiene buen rendimiento y se minimizan los gastos de instalación.

1.3.6. Antena vertical de onda media en una tierra perfectamente conductora.

Por comparación con lo antes mencionado es interesante citar la forma de radiación de la antena de onda media en una tierra perfectamente conductora. Cuando la distribución de la corriente es senoidal el diagrama de radiación está dado por:

$$E = 236.5 \frac{\cos(G \sin \theta) - \cos G}{(1 - \cos G) \cos \theta} \quad \text{--- (1-15)}$$

ó

$$E = 118.25 \frac{\cos(180 \sin \theta) + 1}{\cos \theta} \quad \text{--- (1-16)}$$

donde E y θ ya se definieron y $G=180^\circ$, que es la altura de la antena en grados eléctricos.

La fig. 1-23 muestra en forma comparativa el diagrama de radiación para antenas con diferente ganancia. El diagrama de radiación vertical está expresado en [mV/m] a 1 milla para 1 [KW] de potencia.

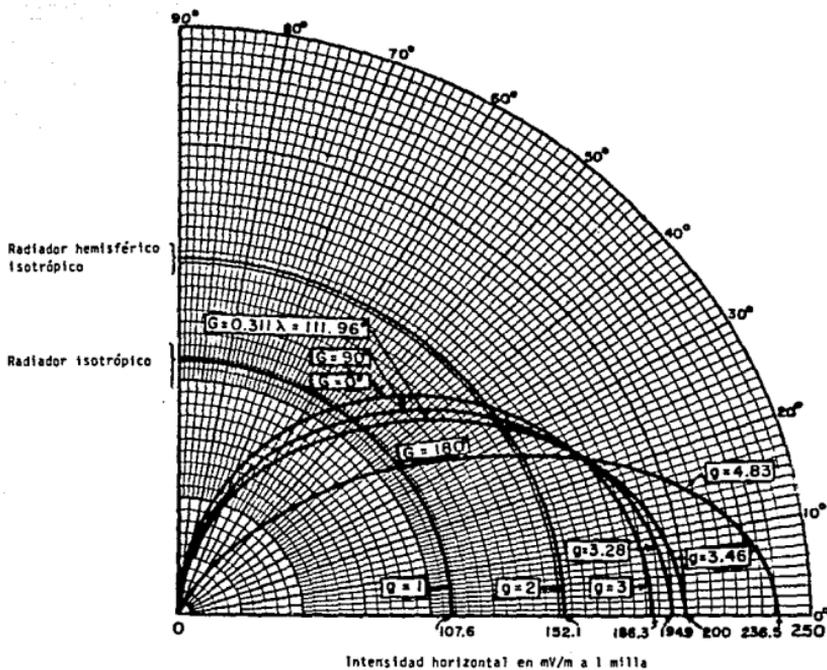


Fig. 1-23 COMPARACION DEL DIAGRAMA DE RADIACION VERTICAL DE ANTENAS CON DIFERENTE GANANCIA Y 1 KW DE POTENCIA RADIADA.

1.3.7. Distribución de la corriente y el voltaje en la antena.

La mayoría de las estaciones de radiodifusión de AM tiene una sola torre -- antena y no cuentan con tope capacitivo ni están seccionadas. Deben de tener un aislador cercano a la tierra. La torre tiene una distribución de corriente con valor de cero en el tope superior, como se muestra en la fig. -- 1-24.

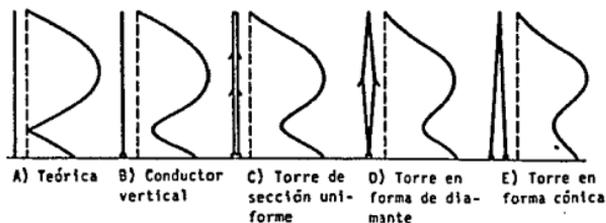


Fig. 1-24 DISTRIBUCION DE CORRIENTE TEORICA COMPARADA CON LA DISTRIBUCION DE CORRIENTE PRACTICA.

El valor máximo de corriente se encuentra a 90° por debajo del tope en una antena teórica. Mientras que en una antena real este valor se halla a menos de 90° por debajo del tope, aproximadamente a 84° para una torre con -- sección transversal uniforme.

La forma general de la distribución de la corriente en una torre alimentada con una onda senoidal es:

$$i_a = I_a \text{ sen } (G-y) \quad \text{-----} \quad (1-17)$$

donde

i_a = amplitud de la corriente a una distancia y sobre la tierra, en [A].

Es mostrada en la fig. 1-25a.

I_a = máxima amplitud de corriente, en [A].

G = altura de la antena en grados.

y = altura del elemento de corriente i_a , en grados.

Para la mayor parte de las antenas se puede considerar que la distribución de corriente es exactamente senoidal a través de esta ecuación. Es válida para un conductor vertical como el mostrado en la fig. 1-24b, también es una buena aproximación para la torre de sección transversal uniforme, ilustrada en la fig. 1-24c, para los tipos de diamante y cónica de las figs. 1-24d y 1-24e la aproximación no es satisfactoria.

La forma general de distribución de voltaje es muy cercana al coseno de la onda, se muestra en la fig. 1-25b para un caso teórico y está expresada por la siguiente ecuación:

$$e_a = E_a \cos (G-y) \quad \text{-----} \quad (1-18)$$

donde

e_a = amplitud de voltaje a una distancia y sobre la tierra, en [V]. Es mostrado en la fig. 1-25b.

E_a = máxima amplitud de voltaje, en [V].

Donde G e y ya se definieron. Si la torre no es suficientemente alta para que la distribución de corriente sea mínima abajo del tope de la torre, entonces el máximo valor de voltaje se encontrará en la parte más alta de la torre. Es necesario visualizar la forma de distribución de voltaje a lo largo de la torre por la necesidad de instalar un buen aislador en puntos de alto voltaje. Si no se proporciona suficiente aislación en el cable de retención a la base de la torre, la corriente puede hacer arco y cortar el servicio de radiodifusión. Algunas torres no tienen aislamiento en la base y son alimentadas en derivación en un punto sobre la base.

Las torres seccionadas han tomado gran importancia en la transmisión de FM y TV. Una torre seccionada, tiene uno o más aisladores sobre la base, con -

el propósito de prevenir reradiaciones indeseadas en los alrededores en la torre, en otros casos se utilizan con el propósito de controlar la distribución de corriente en torres de gran altura. Las antenas con tope capacitivo se utilizan para obtener una mayor cobertura, ya que incrementan la altura eléctrica de la antena.

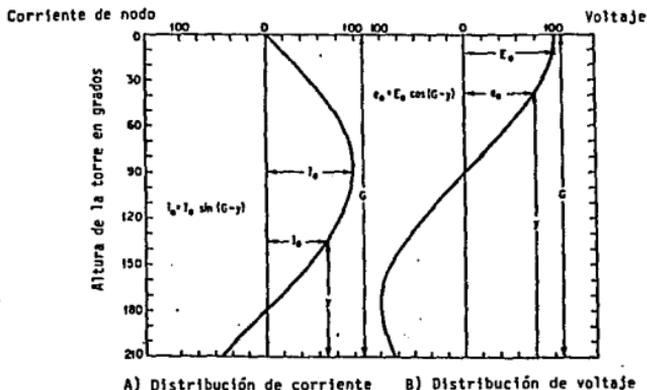


Fig. 1-25 DISTRIBUCION DE CORRIENTE Y VOLTAJE TEORICAS EN UN RADIADOR VERTICAL.

1.3.8. Característica de una antena vertical.

Una torre no direccional, alimentada en serie o derivación, seccionada o no seccionada, con tope capacitivo o sin este; tiene un diagrama de radiación característico, que es la cantidad de señal radiada en todos los ángulos de elevación sobre el plano horizontal con respecto a el plano horizontal de radiación. Este cálculo usualmente se hace considerando la distribución de corriente senoidal.

La distribución de corriente está controlada por la altura y la forma de la antena. En una torre seccionada la magnitud y fase de la corriente en las secciones bajas pueden ser controladas con respecto a la corriente de el to

pe superior de la sección.

La característica de un radiador vertical de una torre no seccionada y con base aislada está dada por:

$$f(\theta) = \frac{\cos(G \sin \theta) - \cos G}{(1 - \cos G) \cos \theta} \quad \text{----- (1-19)}$$

donde

$f(\theta)$ = característica de radiación vertical.

G = altura de la antena en grados eléctricos.

θ = elevación del punto analizado, en grados.

La fig. 1-26 representa la solución de esta ecuación para la mayor parte de las alturas usadas en antenas. La característica de radiación vertical está en función del ángulo de elevación para varias alturas de torres.

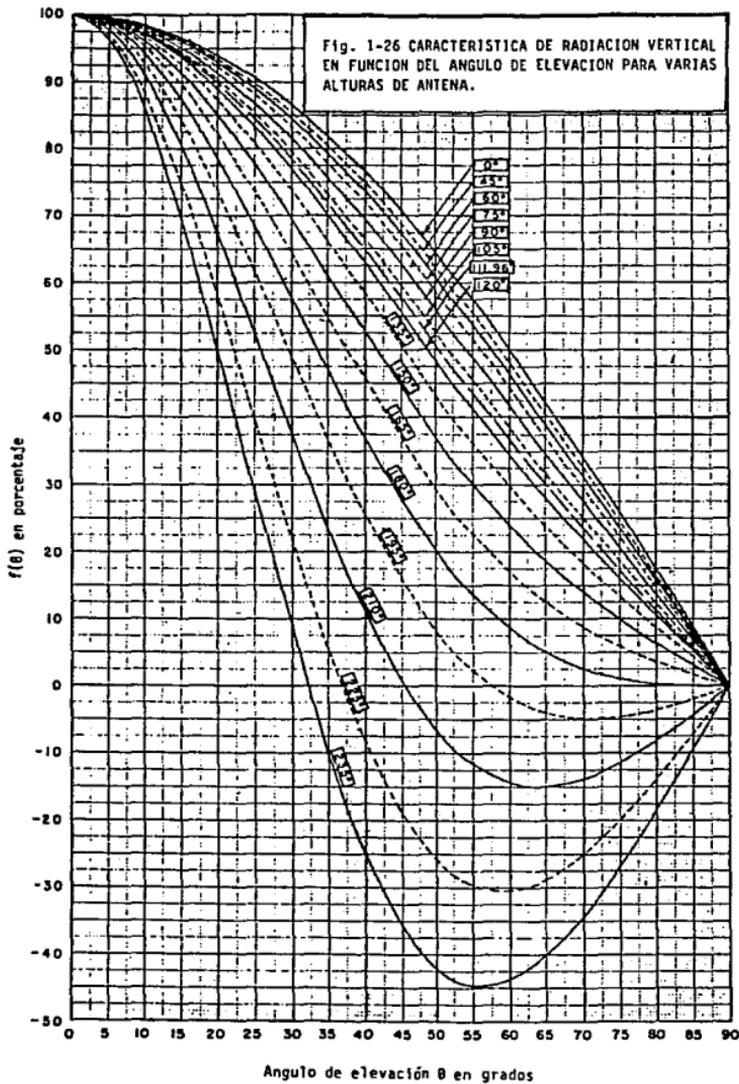
1.3.9 Autoimpedancia.

Una torre de radio tiene diferentes impedancias en todos los puntos a lo largo de la misma. Dos puntos son especialmente interesantes, uno es el de la corriente de lazo que es donde hay la corriente máxima, aproximadamente 90° debajo de la parte superior de la torre si no tiene tope capacitivo y - el otro es el punto donde la torre es alimentada en su base.

Al promedio de la impedancia característica usualmente se le denomina Z_0 y juega un papel importante en el cálculo de la impedancia en la base de la torre. Suponiendo una distribución de corriente senoidal y la conservación de la potencia entre el punto de corriente de lazo y la base para una torre sin tope capacitivo; la base y el punto de lazo de resistencia de radiación están relacionados por la siguiente ecuación:

$$R_{\text{base}} = \frac{R_{\text{lazo}}}{\sin^2 G} \quad \text{----- (1-20)}$$

donde



R_{base} = resistencia de radiación en la base, en $[\Omega]$

R_{lazo} = resistencia de radiación en el lazo, en $[\Omega]$

G = altura de la torre en grados.

La ecuación anterior para la resistencia en la base es válida para antenas con altura superior a los 120° .

Es importante recordar que el resultado de estos cálculos puede no concordar con los valores determinados por medición ya que afecta el tipo de construcción de la antena. Por esta razón el cálculo es solo una aproximación de la resistencia en la base de la antena.

La impedancia de lazo de una torre es un factor importante para el cálculo de la impedancia en la base, generalmente difiere del valor medido, debido a que algunas torres están alimentadas en o cerca del punto de lazo.

$$Z_{\text{base}} = Z_{\text{lazo}} = 36.6 + 21.3 j \quad \text{--- (1-21)}$$

donde

Z_{base} = impedancia en la base, en $[\Omega]$

Z_{lazo} = impedancia de lazo, en $[\Omega]$

$j = \sqrt{-1}$, el segundo término es una reactancia inductiva.

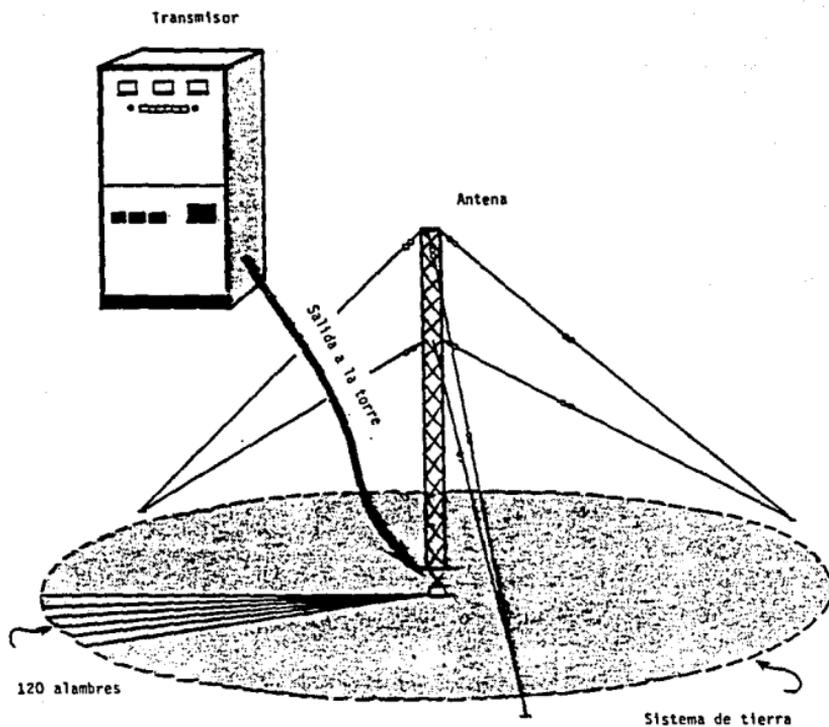
Esto se cumple para antenas resonantes en serie, sin reactancia, cuando la altura G es ligeramente menor de 90° .

1.3.10. Sistema de tierra.

Una antena de AM no está completa sin un sistema de tierra. Para una antena teórica se considera que el plano de tierra es perfectamente conductor de ondas de radio. En la práctica no hay una conducción perfecta y se puede introducir una serie de pérdidas por resistencia de la tierra que van de uno a varios ohms.

Una regla común es usar $2[\Omega]$ de la pérdida por resistencia en un sistema de

Fig. 1-27 DISPOSICION TIPICA DEL SISTEMA DE TIERRA Y DEMAS ELEMENTOS COMPONENTES DE UNA ESTACION RADIOFUSORA DE ONDA MEDIA.



tierra constituido de 120 radiales de alambre de cobre con 90° de longitud. Esta resistencia por pérdidas de tierra representa una reducción de E como pérdidas debidas a el campo eléctrico y de H como pérdidas debidas al campo magnético.

Cuando la altura de la torre es aproximadamente igual a media λ ,--- existe un máximo voltaje en la base, dando como resultado una fuerte intensidad de campo, esto se traduce en una pérdida elevada de E, como consecuencia del desplazamiento de la corriente que pasa de la antena através de la tierra a los radiales del sistema. Estas pérdidas pueden ser materialmente reducidas usando una pantalla de cobre distribuida alrededor de la base de la antena o aumentando el número de radiales colocándolos cerca de la superficie.

Las pérdidas de H son debidas a que el campo magnético se extiende a considerable distancia. Como ya se dijo pueden ser disminuidas incrementando el número de conductores y alargando su longitud, para aumentar la corriente que circula por los radiales, en donde la resistencia es menor.

Un sistema típico de tierra está constituido por alambres de cobre del Nº 10 enterrados en el suelo aproximadamente a 15 [cm]. En la fig. 1-27 se muestra un típico sistema de tierra.

1.3.1.1. Intensidad de campo inversa a una milla.

La intensidad de campo inversa a una milla, algunas veces es referida como la intensidad de campo a una milla sin atenuar. Este es un valor teórico y se utiliza para compararlo con la intensidad a otras distancias. No considera la frecuencia y la atenuación por los efectos de la tierra.

Por ejemplo la característica de radiación vertical a 1 milla es sólo una comparación de la intensidad de campo inverso a 1 milla en todos los ángu--

los de elevación sobre el plano horizontal. Cuando es necesario expresar la radiación de una antena el valor de la distancia inversa es generalmente dado en el plano horizontal a una milla. Se puede expresar con o sin las pérdidas en el sistema de tierra.

Una antena omnidireccional teóricamente produce sólo un valor de intensidad de campo inverso a una milla, que es el mismo para todos los acimuts en el plano horizontal. El patrón de radiación de una antena omnidireccional gráficamente es un círculo, con radio igual a la intensidad de campo inversa a una milla. El diagrama de radiación de una sola torre comúnmente se le considera como omnidireccional. Si el alimentador es asimétrico, en el caso -- de una antena alimentada en derivación o si hay objetos que reradían en los alrededores de la torre, el diagrama de radiación puede no ser circular u -- omnidireccional, puede tener alguna directividad.

Si el patrón de radiación es direccional, el equivalente omnidireccional efectivo puede ser expresado por la raíz cuadrática media (RCM) de la intensidad de campo inversa a una milla. El valor RCM es el radio del círculo que tiene una área equivalente del diagrama resultante de las intensidades de -- campo inverso a una milla en todas las direcciones del plano horizontal.

El diagrama de una antena direccional se representa con los valores de intensidad de campo a una milla, a intervalos de 10° graficado en papel polar. -- El valor RCM de el diagrama se obtiene tomando la raíz cuadrada de la suma -- de los cuadrados de la intensidad de campo en cada acimut dividido entre el número de acimuts considerados.

$$E_0 = \sqrt{\frac{E_{10}^2 + E_{20}^2 + E_{30}^2 + \dots + E_{360}^2}{36}} \quad \text{--- (1-22)}$$

donde

E_0 = intensidad de campo RCM , en [mV/m].

E_{10} = intensidad de campo inverso en el acimut 10° , en [mV/m] etc.

El valor RCM también puede obtenerse utilizando un planímetro polar para medir el área y determinar el radio del círculo. Este radio es el valor RCM de el diagrama en las mismas unidades usadas para el diagrama de radiación.

1.3.12. Intensidad de campo atenuada.

La intensidad de campo atenuada es la cantidad de señal resultante después de haber sido atenuada por la distancia y el medio existente entre el punto de transmisión y el de recepción.

La intensidad de campo atenuada se determina por mediciones con un medidor apropiadamente calibrado y operado.

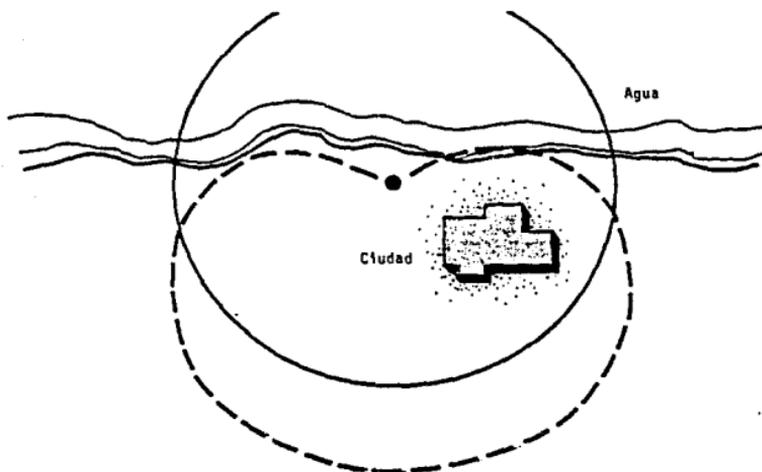
La intensidad de campo eléctrico RCM sin atenuar es el resultado del análisis de las pruebas de comportamiento al sistema radiador y representa la intensidad de campo a 1 milla suponiendo un sistema direccional.

1.3.13. Antena direccional de dos torres.

Uno de los propósitos de las antenas direccionales es el de producir gran cantidad de radiación en una o más direcciones, con la misma potencia que una antena omnidireccional. Otro propósito es el de producir una radiación pequeña en una o más direcciones; siendo esta la forma de evitar interferencias y cubrir con mayor eficiencia las áreas a servir.

La antena direccional de dos torres es la más simple de las antenas direccionales. Se pueden suponer los siguientes aspectos: aunque las señales son unicamente una señal en lo que respecta al receptor, este análisis reconoce el hecho de que las señales que llegan al receptor son combinaciones de se

Fig. 1-28 A) En este caso la antena direccional se utiliza para reorientar la potencia de transmisión del agua a zonas terrestres habitadas.



B) Es posible aumentar la potencia a lo largo de una zona costera utilizando un diagrama de radiación en forma de ocho.

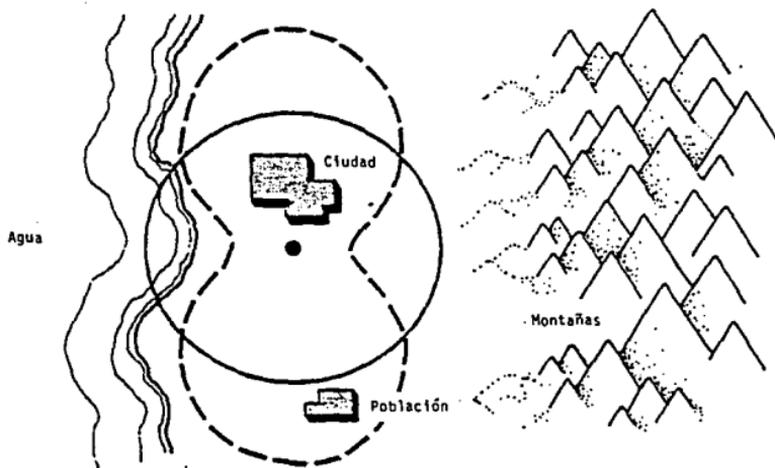
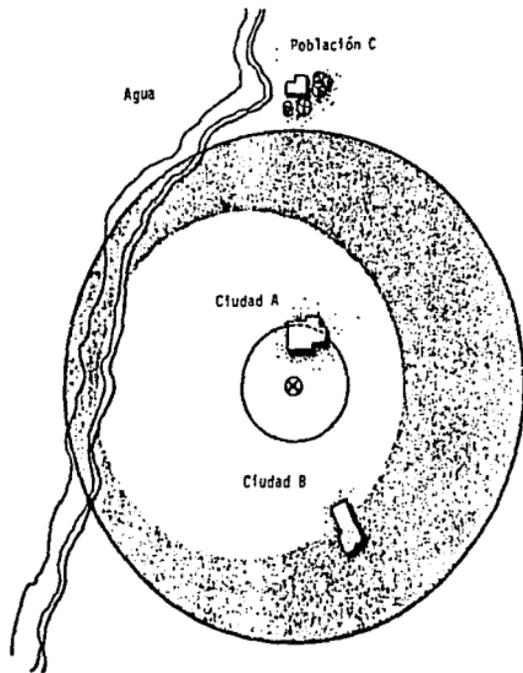


Fig. 1-29a Cuando dos estaciones tienen antenas omnidireccionales y utilizan la misma frecuencia, sus señales pueden interferirse entre sí:



SIGNIFICADO:

⊗ Emplazamiento del transmisor

■ Interferencia

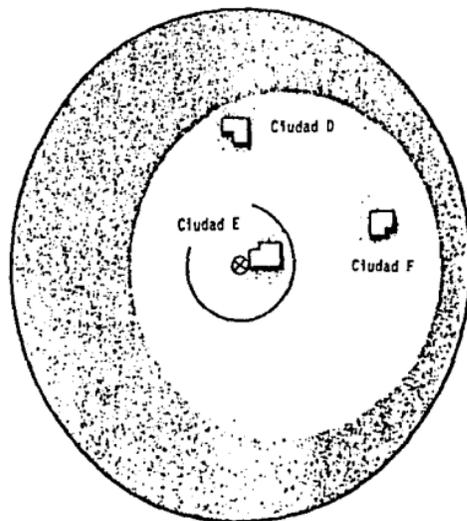
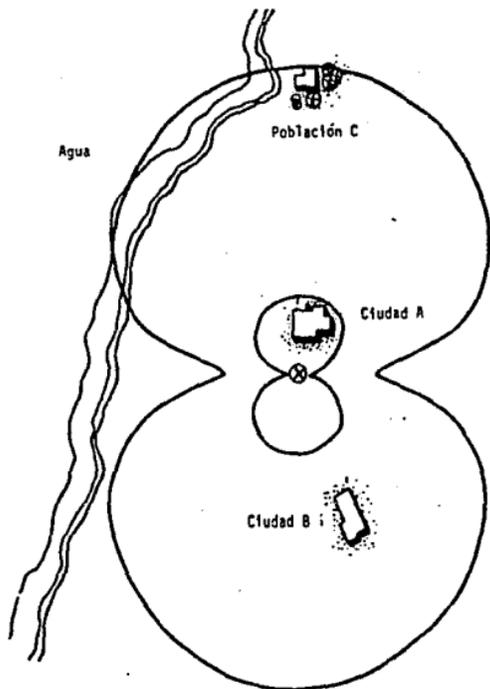


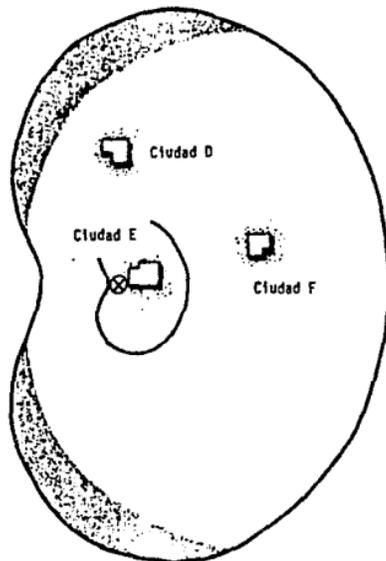
Fig. 1-29b Cuando ambas estaciones utilizan antenas direccionales, se elimina casi toda la interferencia y se incrementa la zona de cobertura.



SIGNIFICADO:

⊗ Emplazamiento del transmisor

■ Interferencia



ñales que llegan por separado desde cada torre.

Cuando dos o más torres radían a la misma vez, las señales de las torres individuales se complementan en algunas direcciones o se reducen en otras. El espaciamiento físico de las torres en un arreglo de dos torres hace que la señal instantánea procedente de una torre llegue adelantada o atrasada de la señal instantánea correspondiente de la otra torre. Este factor, junto con la forma en que se divide la energía entre las torres, se expresa en términos de la fase de la segunda señal con respecto a la primera, que se le llama señal de referencia. La fase se mide en grados eléctricos, siendo un ciclo completo todas las fases posibles igual a 360° . Según la diferencia de fase existente entre dos ondas, y la magnitud de las ondas, estas pueden complementar su intensidad o, bien, cancelarse mutuamente hasta anularse por completo. La fase relativa de las señales puede controlarse en dos formas:

- Cambiando las distancias que recorren las dos señales desde cada torre al receptor.
- Cambiando las fases de las señales eléctricas alimentadas a cada una de las torres de transmisión.

La configuración del diagrama direccional también es afectada por la cantidad de señal relativa de potencia alimentada a cada torre.

1.3.13.1. Defasamiento de la corriente en las dos torres.

En la fig. 1-30 se observa que el medidor A de intensidad de campo está directamente al norte de las dos torres. La distancia desde cada torre hasta el punto receptor norte es la misma; por lo tanto, el tiempo requerido para que la señal llegue desde la torre hasta el punto de recepción es idéntico. Debido a que están alimentando corrientes idénticas a cada torre

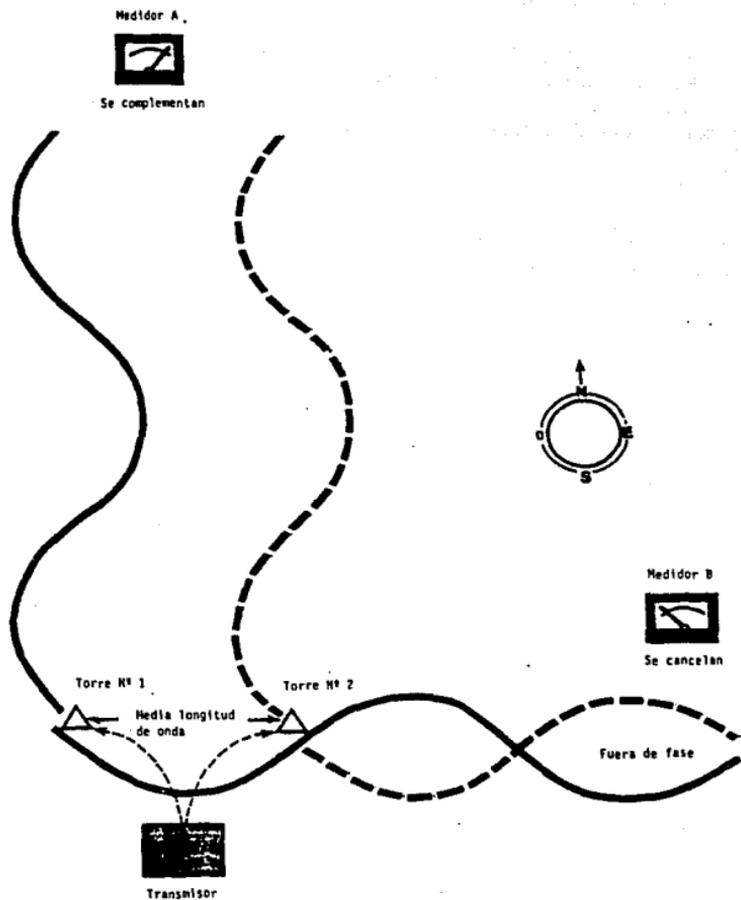


Fig. 130 SUMA Y RESTA DE SEÑALES PROVENIENTES DE DOS TORRES.

y a que las trayectorias de transmisión norte son las mismas, las señales de las torres llegan en fase y se complementan. El medidor A indica un valor elevado de intensidad de campo.

Un segundo emplazamiento receptor, con el medidor B de intensidad de campo, se ha instalado al este. Puesto que cada torre radía señales en todas direcciones, las señales se desplazan hacia el este desde las torres 1 y 2 así como hacia el norte. En este caso, las posiciones de las torres son tales que la torre 2 está más cerca del medidor B que la torre 1. La señal de la torre 2 llegará más rápido que la torre 1.

Las torres 1 y 2 están alimentando corrientes idénticas, pero las torres están espaciadas media longitud de onda entre sí en dirección este. Por lo tanto la separación entre las torres produce una diferencia de tiempo en la transmisión hacia el este, quedando la señal de la torre 2 defasada 180° con respecto a la torre 1 ó torre de referencia.

La situación anterior se ilustra en la fig. 1-31 donde las señales provenientes de las torres 1 y 2 se complementan no solo hacia el norte sino también hacia el sur. Las torres están a la misma distancia de puntos directamente al sur, por lo que las señales también se complementan en dicha dirección. La cancelación que ocurrió hacia el este también ocurre hacia el oeste.

La fase de las corrientes de un sistema direccional también puede controlarse modificando las señales eléctricas alimentadas a las torres. Las direcciones de las señales fuertes (lóbulos) y las señales débiles (mínimas) son afectados principalmente, por la fase eléctrica, y el aumento o disminución de las cantidades relativas de potencia alimentadas a las torres.

En el ejemplo anterior, la salida del transmisor se ha dividido por igual

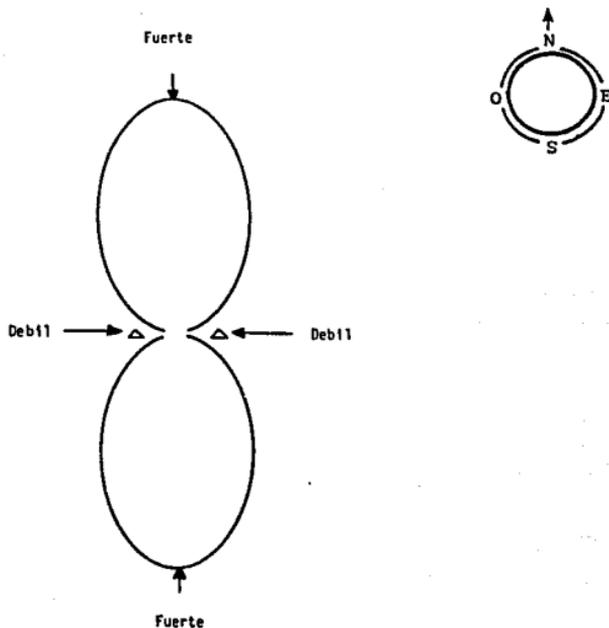


Fig. 1-31 DIAGRAMA DE RADIACION EN FORMA DE OCHO.

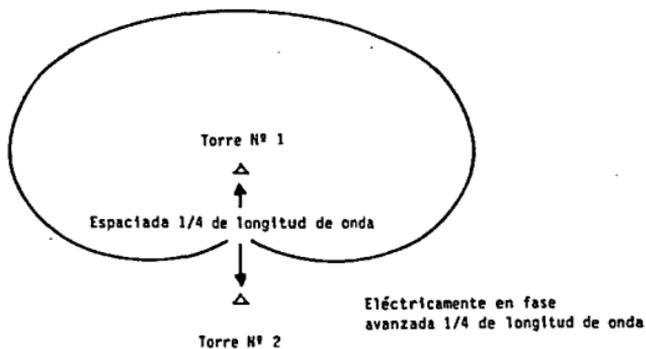


Fig. 1-32 DIAGRAMA DE RADIACION CARDIOIDE.

y se ha alimentado en forma idéntica a la torre. Al variar la longitud de la línea de transmisión o al emplear determinados circuitos electrónicos -- entre el transmisor y cada una de las torres, puede lograrse cualquier relación de fase entre las señales que originan las torres.

La relación de fase eléctrica entre las torres afecta a la cantidad de energía radiada, complementando o restando los retardos creados por el espaciamiento de las torres. En la fig. 1-32, las torres están espaciadas un cuarto de longitud de onda. Las torres 1 y 2 reciben la misma potencia, pero a la torre 2 se proporciona una corriente que está en fase de tal forma que -- adelante a la de la torre 1 en 90° . Para analizar este diagrama de radiación se puede tomar la torre 1 como referencia. Al norte de la torre 1, se su pone que la señal llega desde la torre de referencia en una determinada cantidad de tiempo. Ahora considerando la señal de la torre 2 que está a un -- cuarto de longitud de onda de distancia pero cuya señal eléctrica está adelantada 90° . El desplazamiento de las torres retarda la señal de la torre -- 2, pero la fase eléctrica la adelanta en la misma cantidad y el resultado -- es el de que la señal de la torre 2 llega en una dirección norte en fase -- con la torre 1 y las dos señales se complementan produciendo una señal con mayor intensidad.

Al sur, considerando de nuevo la señal transmitida por la torre de referencia, torre 1. La torre 2 está a un cuarto de longitud de onda más cerca de la dirección sur, y su señal eléctrica está avanzada 90° produciendo un ade lanto total de 180° . Esto coloca a las fases en oposición y hace que se can celen.

Las señales procedentes de las dos torres van progresivamente de la sustrac ción a la adición a medida que la dirección pasa de sur a norte, produciendo el diagrama ilustrado.

En realidad con sólo dos torres puede crearse una amplia gama de diagramas de radiación mediante la selección de combinaciones diferentes de niveles - de potencia, relaciones de fase y separaciones físicas de las torres.

A menos que se indique lo contrario todos los diagramas de radiación se calculan y se miden para la intensidad de campo inversa.

CAPITULO II NORMATIVIDAD

CAPITULO II. NORMATIVIDAD.

2.1. NORMATIVIDAD.

Durante el proceso de planificación para autorizar la operación de estaciones radiodifusoras moduladas en amplitud existen factores muy importantes - que deben tomarse en cuenta para evitar interferencias objetables entre estos servicios, algunos de los principales son la separación entre canales, el ancho de banda de la emisión, la separación entre estaciones, la potencia de la estación, la altura de la antena y otros.

En base a lo anterior existen una serie de normas que rigen todos estos parámetros, cuyo fin principal es la optimización del uso del espectro radioeléctrico. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), es el organismo rector de las radiocomunicaciones, este organismo publica acuerdos, reglamentos y normas para tal fin. La norma que reglamenta la radiodifusión en AM se denomina "NORMAS PARA INSTALAR Y OPERAR ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN EN LA BANDA DE 535 A 1605 KHz".

La norma mexicana como cualquier otra norma, está acorde también a los Acuerdos Internacionales que nuestro país tiene signados con otros países y organismos internacionales como son el Comité Consultivo Internacional de Radiodifusión (CCIR) y con la administración de los Estados Unidos de Norteamérica a través de la Federal Communications Commission (FCC) y el Departamento de Estado, asimismo está abierta a las diferentes innovaciones tecnológicas que se presentan en materia de radiodifusión.

Uno de los aspectos principales al autorizar una radiodifusora es el establecimiento de Areas de Cubrimiento cuyos contornos de servicio mantengan una relación de protección tanto a nivel nacional como con los países con los que se tienen firmados convenios.

Para una señal por onda de superficie existen diferentes métodos de cálculo pero invariablemente involucran la conductividad eléctrica del terreno; en nuestro país se cuenta para estas situaciones con una carta de conductividad eléctrica de la República Mexicana, dicha carta es una mezcla de información teórica y de mediciones de conductividad del terreno.

Al área servida por la onda de superficie se le denomina área de servicio primario; se dice que existe interferencia objetable en dicha área cuando los contornos protegido e interferente se traslapan, sin embargo esto hay que demostrarlo en la práctica en base a mediciones de intensidad de campo eléctrico ya que por lo general los cálculos difieren de la información obtenida en el campo. El área servida por la onda ionosférica se le llama -- área de servicio secundario. La propagación de la señal por onda ionosférica o reflejada de una señal de AM se puede predecir o calcular, la Norma Mexicana contiene una serie de curvas, nomogramas y fórmulas de cálculo para ello; sin embargo en el caso anterior, los cálculos no resultan muy confiables debido a diferentes causas mencionadas en el capítulo I, por lo que en la práctica se encuentran diferencias bastante considerables entre lo calculado y lo medido.

La SCT vigila que la instalación de un sistema radiador cumpla con los parámetros normativos para la práctica de la buena ingeniería, como es el caso

de las dimensiones físicas mínimas de un sistema radiador y la intensidad de campo característica mínima de acuerdo a la clase de estación; este parámetro se puede obtener en base a nomogramas que aparecen en las normas, pero es necesario medirlo para obtener resultados reales.

En el caso de las dimensiones físicas del sistema radiador debe tenerse cuidado de que se cumplan los valores mínimos de intensidad de campo a 1609 [m] del radiador, de otra forma se tendría un radiador poco eficiente. Los valores máximos de intensidad de campo los fija la SCT en base a la protección de las áreas de servicio de otras estaciones.

Estableciendo un compromiso entre costo y eficiencia se ha determinado en base a estudios que un sistema radiador compuesto de una torre de un cuarto de longitud de onda y un sistema de tierra de 120 radiales de alambre de cobre cumple con lo relativo a la práctica de la buena ingeniería, sin embargo como se menciona en párrafos anteriores la SCT autoriza otras dimensiones siempre que se cumplan con los valores mínimos y máximos de intensidad de campo.

El uso de sistemas direccionales de antenas conlleva a optimizar en mayor grado el uso del espectro radioeléctrico y el aprovechamiento del área de servicio principalmente cuando está servida por onda de tierra, cubriendo zonas con una señal útil, que con un sistema omnidireccional sería prácticamente imposible de cubrir.

La SCT autoriza la operación en base a la protección que debe darse a otras estaciones nacionales o extranjeras. El ingeniero se encarga de diseñar el diagrama de radiación calculado en el plano horizontal y vertical que es presentado para su aprobación y posteriormente su instalación.

Dado que los cálculos se desarrollan suponiendo que la onda se propaga en un medio isotrópico, es de esperarse que los resultados obtenidos en la práctica sean diferentes debido a factores como la conductividad terrestre, obstáculos naturales y otros ya expuestos en el capítulo I; por esta razón la norma técnica para dichos servicios contempla la medición del diagrama de radiación en el plano horizontal.

En las páginas posteriores de este capítulo se expone la normatividad correspondiente a las antenas de radiodifusión en Amplitud Modulada.

Finalmente cabe destacar que debido a que nuestro país es signatario de diferentes organismos internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), a través del CCIR se toman medidas para reglamentar las radiocomunicaciones; en acuerdos tomados con anterioridad se ha resuelto que a nivel internacional, parámetros como los cálculos y mediciones de intensidad de campo eléctrico a 1609 [m] (1 milla) se uniformicen para que todos los cálculos y mediciones de intensidad de campo estén dados a 1 [Km] del radiador en lugar de a 1609 [m]. Para esto la SCT ha tomado providencias para que la normalización correspondiente esté acorde a los lineamientos de la UIT.

No obstante, el contenido esencial de la norma vigente no se modifica sustancialmente.

2.1.1. Definiciones y terminología.

-Radiodifusión en la banda normal: servicio de radiodifusión sonora - - -
que se desarrolla en la parte de la banda de ondas hectométricas (fre - - -
cuencias medidas) comprendida entre 535 y 1605 [kHz]. Las emisiones de - - -
este servicio están destinadas a la recepción directa por el público - - -
en general.

-Canal de radiodifusión: banda de frecuencias asignadas a una estación - -
cuya frecuencia portadora está en el centro.

-Estación clase A: estación dominante destinada a proporcionar servi - - -
cio a grandes áreas y ciudades, esta protegida contra interferencias - - -
objetables dentro de sus áreas de servicio. El servicio primario está - - -
protegido contra interferencia objetable de otras estaciones que operen - - -
en cocanal y primero y segundo canales adyacentes y en servicio secun - - -
dario de estaciones que operan en cocanal y el primer canal adyacente.

-Estación clase B: estación destinada a proporcionar servicio primario - - -
a uno o más poblaciones y áreas rurales contiguas. Esta clase de - - -
estaciones están protegidas contra interferencias objetables de las es - - -
taciones clase C, pero está limitada por las interferencias producidas - - -
por las estaciones clase A y B.

-Estación clase C: estación destinada a proporcionar servicio primario - - -
a una población o comunidad y las áreas suburbanas y rurales contiguas.
Su área de servicio se determina mediante la aplicación de las disposi - - -
ciones contenidas en las normas y está protegida contra interferencia - - -
objetable.

-Potencia de operación: potencia de una estación es la que suministra sin modulación al sistema de antena.

-Señal que se ha de proteger: señal determinada por el valor del contorno normal que se ha de proteger, o señal de un contorno reducido en el punto donde se debe determinar la protección de dicha señal.

-Relación de protección: relación que guarda la señal que se ha de proteger y la máxima señal interferente permisible.

-Anchura de banda necesaria: valor mínimo de la anchura de banda ocupada por una emisión, suficiente para asegurar la transmisión de la información con la calidad requerida.

-Onda de tierra: onda que se propaga por la superficie de la tierra o cerca de ella.

-Onda reflejada (onda de cielo): onda que ha sido reflejada en la ionósfera.

-Señal de onda reflejada (onda de cielo), 10% del tiempo: valor de una señal de onda reflejada que no excede más del 10% del periodo de observación.

-Señal de onda reflejada (onda de cielo), 50% del tiempo: valor de una señal de onda reflejada que no excede más del 50% del periodo de observación.

-Intensidad de campo radiado: es la intensidad de campo, corregida por absorción, producida por una estación en una dirección específica a una distancia de 1609 [m] (1 milla) de su antena.

-Intensidad de campo de distancia inversa: valor de la intensidad de campo radiado a una cierta distancia, sin considerar la atenuación debi-

da a la absorción terrestre.

-Intensidad de campo aparente: valor raíz cuadrático medio (RCM) de las intensidades de campo eléctrico de distancia inversa, a 1609[m] de la antena, obtenidas por mediciones.

-Intensidad de campo característica: es la intensidad de campo, corregida por absorción, de la señal de onda de tierra, radiada por una estación, cuando la potencia de alimentación a una antena omnidireccional es de 1 [Kw] y la distancia de referencia es de 1609 [m] (1 milla).

-Área de servicio primario: área en que la onda de tierra no está sujeta a interferencia objetable.

-Área de servicio secundario: área servida por la onda reflejada y no sujeta a interferencia objetable. La señal está sujeta a variaciones intermitentes de intensidad de campo.

-Contorno normal que se ha de proteger: línea continua que une los puntos en donde la intensidad de campo tiene un valor que determina las áreas de servicio primario o secundario, en ausencia de señales interferentes.

-Contorno reducido que se ha de proteger: contorno que resulta de la acción de una o más señales interferentes de valor superior al de la máxima señal interferente permisible dentro del contorno normal que se ha de proteger.

-Máxima señal interferente permisible: valor máximo permisible de una determinada señal indeseada, en cualquier punto del contorno normal que se ha de proteger o en el contorno reducido, según el caso, que mantiene con la señal deseada una relación prescrita en las normas.

- Interferencia objetable: es la ocasionada por una señal que excede - - - -
la máxima permisible en el contorno normal que se ha de proteger o en - - -
el contorno reducido, según sea el caso, de conformidad con los térmi- - - -
nos de las normas.
- Operación diurna: operación entre la hora local de la salida del sol - - -
y la hora local de la puesta del sol.
- Operación nocturna: operación entre la hora local de la puesta del sol - -
y la hora local de la salida del sol.
- Ubicación de la estación: lugar donde se encuentra instalado el siste- - -
ma radiador de una estación.
- Altura eléctrica de la antena: representa la longitud en grados eléc- - -
tricos de la antena empleada.
- Altura física de la antena: es la longitud en metros de la antena, - - - -
desde el nivel del suelo en que esta descansa hasta el extremo superior, - - -
considerando las luces de obstrucción.
- Señal útil: intensidad media necesaria para proporcionar un servicio - - -
satisfactorio en una zona determinada, considerando el ruido parásito - - -
ambiental.
- Porcentaje de modulación: relación de la mitad de la diferencia en- - - -
tre las amplitudes máxima y mínima con la amplitud promedio de la onda - - -
modulada, expresado en porcentaje.

2.1.2. Principios técnicos.

- Banda de frecuencia asignada: 10 [kHz] (5 [kHz] a cada lado de la portador - - -
ra).

-Separación entre canales: los 107 canales de la banda normal estarán separados 10 [KHz] uno del otro. 540 [KHz] será el primero y 1600 [KHz] será el último.

-Tolerancia de frecuencia: 10 [KHz] a uno u otro lado de la frecuencia asignada.

-Determinación de la potencia: en sistema omnidireccionales se determina en el punto de alimentación de la antena; en el caso de sistemas direccionales, en el punto de alimentación del sistema.

-Emisiones de radiaciones no esenciales:

- a) Las emisiones que aparezcan en las frecuencias separadas de 15 a 30 [KHz] de la portadora sin modular, deben ser atenuadas por lo menos 25 [dB] por debajo de la portadora sin modular.
- b) Las emisiones que aparezcan en las frecuencias separadas de 30 a 75 [KHz] de la portadora sin modular, deben ser atenuadas por lo menos 35 [dB] por debajo del nivel de la portadora sin modular.
- c) Las emisiones que aparezcan en frecuencias separadas más de 75 [KHz] de la portadora sin modular, deben ser atenuadas cuando menos $43 + 10 \log_{10} P$ (P=potencia en watts) por debajo del nivel de la portadora sin modulación ú 80 [dB], cualquiera que resulte en menor atenuación.

-Porcentaje de modulación: el porcentaje de modulación se debe mantener tan alto como sea posible. En ningún caso debe rebasar el 100% en picos negativos y 125% en picos positivos.

2.1.3. Protección e interferencia.

2.1.3.1. Contorno normal que se ha de proteger.

Los contornos, para cada clase de estación, que han de ser protegidos - - - por otras estaciones que operen en el mismo canal tendrán los valores - - - indicados a continuación.

- a) Estación clase "A" (1)

Onda de superficie

Diurno: mismo canal 100[$\mu\text{V}/\text{m}$]; canal adyacente 500[$\mu\text{V}/\text{m}$]

Nocturno: 500[$\mu\text{V}/\text{m}$]

Onda ionosférica (2)

500[$\mu\text{V}/\text{m}$], 50% del tiempo

- b) Estación clase "B" (3)

Onda de superficie

Diurno: 500[$\mu\text{V}/\text{m}$]

Nocturno: 2500[$\mu\text{V}/\text{m}$]

- c) Estación clase "C" (3)

Onda de superficie

Diurno: 500[$\mu\text{V}/\text{m}$]

Nocturno: 4000[$\mu\text{V}/\text{m}$]

2.1.3.2. Protección del contorno reducido.

Cuando sea aceptada una reducción en el área de servicio de una estación - - clase B ó el área de servicio diurno de una estación clase C, por el efecto - - causado por una o más señales de valor superior al de la máxima inter- -

ferencia permisible, en el contorno normal a proteger, la línea que describe el límite del área de servicio libre de interferencia en el sector donde ocurre la reducción de servicio se convertirá en el contorno que se ha de proteger por una nueva señal en esa zona.

Tabla 2.1. Máxima interferencia en el contorno protegido.

Clase de estación	Día	Noche
Cocanal		
A	5 uV/m	25 uV/m
B	25 uV/m	125 uV/m
C	25 uV/m	200 uV/m
Primer canal adyacente		
A	500 uV/m	
B	500 uV/m	
C	500 uV/m	
Segundo canal adyacente		
A	15 mV/m	
B	15 mV/m	
C	15 mV/m	

2.1.3.3. Relaciones de protección.

Relación de protección en el mismo canal: la relación de protección en el mismo canal será de 26 [dB] (20:1).

Relación de protección de canales adyacentes:

- la relación de protección para el primer canal adyacente será de 0 [dB] (1:1).
- la relación de protección para el segundo canal adyacente será de -29.5 [dB] (1:30).

2.1.4. Onda reflejada.

No se toma en cuenta ninguna interferencia entre estaciones que operen en canales adyacentes y que resulte de una señal interferente procedente de la transmisión de onda reflejada.

2.1.5. Interferencia objetable en el contorno normal que se ha de proteger o en el contorno reducido que se ha de proteger.

a) En el mismo canal: se considera que existe o se espera interferencia objetable, cuando la señal indeseada es mayor que:

- la máxima señal interferente permisible señalada en la parte 2.1.3.2., si se trata de contorno normal.
- la que resulte de aplicar el procedimiento de cálculo especificado en las normas, si se trata del contorno reducido.

b) En el canal adyacente: se considera que existe o se prevé interferencia objetable, cuando la señal indeseada es mayor que el valor determinado por la aplicación de las relaciones de protección establecidas en 2.1.3.2.

El procedimiento para calcular la interferencia objetable y el grado de este se establece en las normas.

2.1.6. Protección fuera de fronteras.

Los requisitos de protección fuera de las fronteras nacionales deberán ajustarse a lo que establecen los Convenios, Acuerdos y Tratados Internacionales suscritos con los países correspondientes.

2.1.7. Sistema radiador y ubicación del transmisor.

- Todas las estaciones de radiodifusión comercial que operen en la banda de

535 a 1605 [GHz] deben usar antenas verticales.

- Los parámetros que determinan las características de un sistema radiador deben cumplir con los valores de campo característico establecidos en la siguiente tabla o de acuerdo con los valores específicos que fije en cada caso la SCT, ya sea cuando se trata de estaciones nuevas, o bien, cuando las que ya se encuentren en operación cambien de características.
- Todas las estaciones de radiodifusión deben instalar, para el buen funcionamiento de su antena, un sistema de tierra constituido por un mínimo de 120 radiales de alambre de cobre con un diámetro nominal de 2.05 [mm], espaciados uniformemente y cuya longitud pueda variar en combinación con la altura de la antena para obtener un campo característico dentro de los rangos establecidos en la tabla, según sea la clase de estación de que se trate.

Tabla 2.2. Valores de intensidad de campo de acuerdo a la clase de estación.

Clase de estación	Campo característico en [mV/m]. (valor mínimo)
A	225
B	175
C	150

- Para los sistemas direccionales, los extremos interiores de los radiales se encontrarán precisamente hacia la base de la antena y no a un lado y se deberán unir en forma segura en un anillo (de mayor calibre) o placa que irá conectado a las partes metálicas del extremo bajo del aislador, cuando se trate de radiadores alimentados en serie. Para el caso de radiadores que se extienden en paralelo, el anillo o placa se unirán directamente a la antena. De esta unión a tierra se tomarán las tierras de los circuitos acopladores, así como las demás conexiones a tierra de objetos metálicos que se encuentren cerca del elemento radiador.

- Los radiadores, cuando sean excitados en serie, tendrán dispositivos que permitan derivar a tierra las descargas atmosféricas que sufran y las cargas de electricidad estática que acumulen.
- En todos los sistemas de antena que empleen varios radiadores, cada uno con su sistema de tierra, se evitará que los radiales se crucen, por lo cual se cortarán y unirán al conductor intermedio que se colocará perpendicular al que une los anillos de las estructuras. En el resto del terreno, seguirán hasta alcanzar su longitud óptima.
- Cuando las estaciones radiodifusoras produzcan interferencias en aparatos de comunicación instalados posteriormente a la estación y fuera de su contorno de intensidad del campo de 1 [V/m] la SCT efectuará estudios tendientes a coadyuvar a su eliminación, con la participación y cooperación directa de las estaciones.
- Al seleccionar el sitio en donde ha de ubicarse una estación se recomienda considerar lo siguiente.
 - a) cubrir adecuadamente la población principal a servir.
 - b) cubrir las áreas industriales con un mínimo de intensidad de campo de $25 \text{ a } 50 \text{ [mV/m]}$ y las áreas residenciales con un mínimo de intensidad de campo de $5 \text{ a } 10 \text{ [mV/m]}$, según el nivel de ruido ambiente.
 - c) generalmente, debido a las condiciones del terreno, es mejor un sitio bajo que en lo alto de una colina. Sin embargo, se utilizará un sitio alto en aquellos casos en que sea el único medio de evitar obstáculos que provoquen sombras en el área a servir.
 - d) el sitio ideal para una instalación de esta índole es una parte baja sobre área pantanosa o arcillosa que se encuentre húmeda la mayor parte del tiempo y que tenga un claro de vista hacia la población a servir.

e) otro factor importante es el de el terreno entre el sistema radiador y la población ya que si es arenoso o con depósitos minerales habrá mucha absorción por lo que es más conveniente un terreno húmedo fangoso o con mantos de agua salada.

f) se debe tener muy en cuenta que no haya edificios altos alrededor del sistema radiador para evitar áreas de sombra que impidan cubrir adecuadamente el área de servicio autorizada.

2.1.8. Graficas de atenuación de la onda de tierra.

Las graficas de intensidad de campo por onda de tierra de la norma, muestran los valores calculados de intensidad de campo eléctrico de la onda de tierra, en función de la distancia a la antena transmisora.

La intensidad de campo se considera aquí como parte de la componente vertical del campo eléctrico recibido en la tierra, el cual no es reflejado por ninguna de las capas de la ionósfera o de la tropósfera.

Las gráficas se calcularon para 20 diferentes frecuencias, una constante dieléctrica igual a 15 para la tierra y 80 para el agua de mar (referida al aire como la unidad) y para las conductividades de tierra que se expresan en las curvas, dadas en milisiemens por metro [mS/m].

Las curvas muestran la variación de la intensidad de campo eléctrico de la onda de tierra con la distancia, utilizando una antena vertical corta, colocada en la superficie de una tierra esférica uniformemente conductora, con las constantes de tierra que se muestran en las gráficas; estas curvas fueron hechas para una potencia de antena y una eficiencia, tales que la intensidad de campo de distancia inversa a $1609[m]$ es de $100[mV/m]$ y son validas también para otras antenas diferentes a la que se utilizó para su elaboración.

Utilizando las curvas correspondientes y la siguiente expresión:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{E_x}{E_0} \text{ --- (21)}$$

La cual es una relación directa de los valores conocidos tomados de las curvas y los que se desean calcular, donde:

$E_0 = 100$ [mV/m] de distancia inversa (valor constante tomado de las curvas).

E = Intensidad de campo eléctrico en el plano horizontal de la antena en --
cuestión.

R_0 = Intensidad de campo eléctrico en el plano horizontal de una antena hipotética a una distancia X .

R = Intensidad de campo eléctrico en el plano horizontal de la antena en --
cuestión a una distancia conocida.

Con la relación anterior se pueden calcular la intensidad de campo eléctrico en el plano horizontal que pone una antena a una distancia conocida, o bien la distancia a que llega un contorno de radiación por onda de tierra.

Ejemplo:

Calcular la intensidad de campo en el plano horizontal que produce a 160 [Km] (99.5 millas) una estación que opera con los siguientes parámetros:

$$P = 5 \text{ [Kw]}$$

$$\eta = 175 \text{ [mV/m]}$$

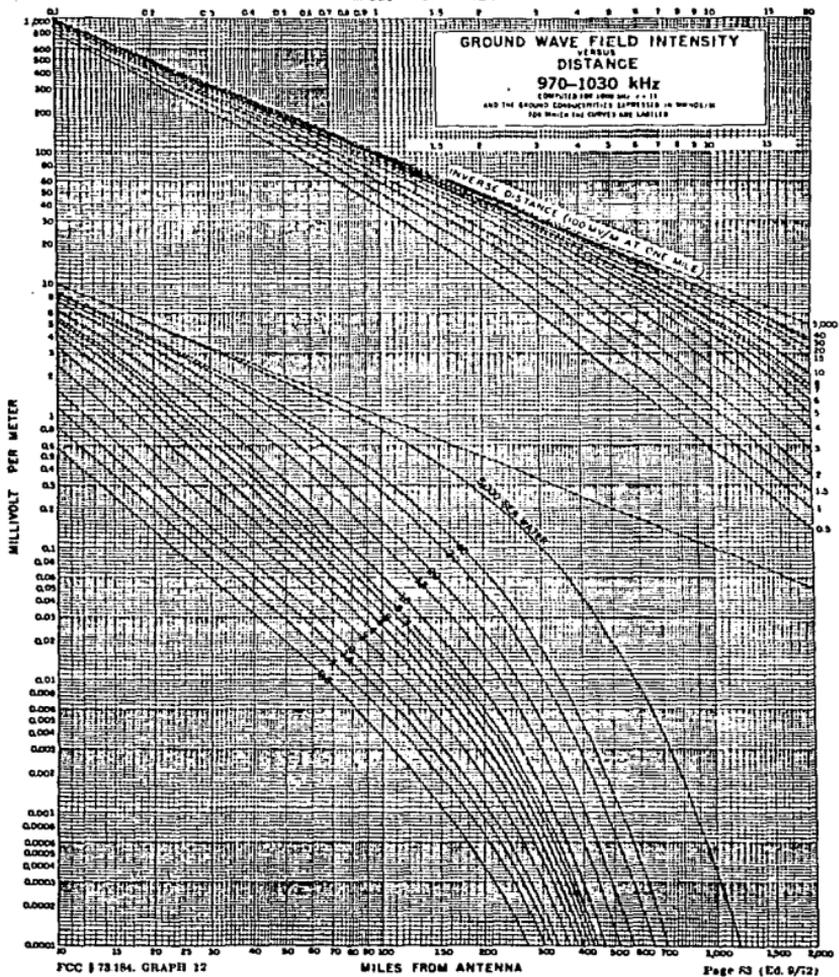
$$f = 1000 \text{ [kHz]}$$

conductividad del terreno = 10 [mS/m].

Procedimiento:

a) Calcular la intensidad de campo en el plano horizontal a 1609 [m]

MILES FROM ANTENNA



(1 milla) por medio de la fórmula:

$$E = \eta \sqrt{P} \quad \text{--- --- --- (22)}$$

Por lo tanto, $E = 390 \text{ [mV/m]}$

b) Utilizando la grafica 12 anexada, determinar el valor de R_0 para una distancia de 160 [km] (99.5 millas) siguiendo, en este caso, la curva de conductividad de 10 [mS /m].

Por lo tanto, $R_0 = 62.5 \text{ [uV/m]}$

c) Calcular la intensidad de campo que produce la estación a 160 [km] (99.5 millas) de distancia; aplicando la fórmula (21), sustituimos valores y tenemos:

$$R = \frac{390 \text{ [mV/m]} \times 62.5 \text{ [uV/m]}}{100 \text{ [mV/m]}}$$

$$R = 243.75 \text{ [uV/m]}$$

que es la intensidad de campo eléctrico a una distancia de 160 [km].

2.1.9. Método de Kirke.

(Distancia equivalente) para el cálculo de la intensidad de campo de la onda de tierra.

Cuando una señal transcurra a través de una trayectoria donde existan diferentes conductividades, la distancia a un contorno de intensidad de campo de la onda de tierra se puede predecir mediante el método de distancia equivalente.

Al predecir intensidades de campo a cierta distancia de la antena, mediante el método de distancia equivalente, se espera que haya resultados razonable

mente precisos cuando se conocen el campo sin atenuación de la antena, las diferentes conductividades de la tierra y la ubicación de las discontinuidades. Este método considera que una onda se propaga a través de una conductividad dada, de acuerdo con la curva para una tierra homogénea de dicha conductividad. Cuando la onda pasa a una región de una segunda conductividad - la distancia equivalente que guarda un punto de recepción con respecto al - transmisor cambia repentinamente, pero no la intensidad de campo. Desde el punto localizado justamente dentro de la segunda región, el transmisor aparece como si estuviera a una distancia tal que, en la curva para una tierra homogénea de la segunda conductividad, la intensidad de campo fuera igual - al valor que tuviera precisamente a través del contorno de la primera región. De esta manera, la distancia equivalente del punto de recepción al -- transmisor puede ser mayor o menor que la distancia real.

Se considera que existe un transmisor imaginario a dicha distancia equivalente. No se tiene en mente usar esta técnica como medio para evaluar el - campo sin atenuación, o la conductividad terrestre, basándose en el análisis de los datos de medición.

A continuación se expone un ejemplo del uso del método de distancia equivalente.

Se desea determinar la distancia a los contornos de 0.5 [mV/m] y 0.025 [mV/m] de una estación en la frecuencia de 1000 [kHz] , con un campo a distancia inversa de 100 [mV/m] a una milla sobre una trayectoria que tiene conductividad de 10 [mS/m] a lo largo de una distancia de 24 [Km] , 5 [mS/m] en los siguientes 33 [Km] y 15 [mS/m] en el resto de la trayectoria. Mediante el uso de las -- curvas de propagación adecuadas en este caso la gráfica 12, se ve que a una distancia de 24 [Km] en la curva para 10 [mS/m] el campo es de 3.45 [mV/m] .

la distancia equivalente a esta intensidad de campo para una conductividad de 5 [mS/m] es de 17.7 [Km] . Continuando sobre la curva de propagación para la segunda conductividad, el contorno de 0.5 [mV/m] se encuentra a una distancia de 45 [Km] respecto del transmisor imaginario. Puesto que el transmisor imaginario estaba 6.5 [Km] más próximo ($24-17.8 \text{ [Km]}$) al contorno de 0.5 [mV/m] la distancia del contorno real es de 51.5 [Km] ($45 + 6.5 \text{ [Km]}$). La distancia al contorno de 0.025 [mV/m] se determina continuando sobre la curva de propagación para la segunda conductividad a una distancia de 51 [Km] ($18 + 33 \text{ [Km]}$), punto en el cual se lee que el campo es de 0.39 [mV/m] . En este punto, la conductividad cambia a 15 [mS/m] y, utilizando la curva relativa a esta conductividad, se determina que la distancia equivalente es de ($88 - 43.5 \text{ [Km]}$) más lejana que la que se hubiera obtenido habiendo prevalecido una conductividad de 5 [mS/m] ; determinando el contorno de 0.025 [mV/m] se encuentra a una distancia equivalente de 280 [Km] . Puesto que se había considerado que el transmisor imaginario se encontraba 6.5 [Km] más próximo al primer contorno y 43.5 [Km] más lejos del segundo, el efecto es considerar que el transmisor imaginario está 37 [Km] ($43.5 - 6.5 \text{ [Km]}$) más lejos que el transmisor real, de tal manera que la distancia real al contorno de 0.025 [mV/m] resulta ser de 243 [Km] ($280 - 37 \text{ [Km]}$).

CAPITULO III

TECNICAS DE MEDICIÓN Y CALCULO

CAPITULO III. TECNICAS DE CALCULO Y MEDICION.

En este capítulo se describen los métodos de cálculo y medición utilizados para determinar las características de operación del sistema radiador de -- una estación radiodifusora modulada en amplitud; en su mayoría los métodos de medición utilizados son empíricos, es decir, basados en pruebas de campo y apoyados en pruebas de laboratorio, introduciendo así, parámetros fuera - de los cálculos meramente teóricos. De esta manera los métodos de medición que se presentan contienen elementos que los hacen apropiados para desarrollarse en la topografía de México, algunos de ellos fueron desarrollados en nuestro país basados en la experiencia propia y la de otros países, sin embargo no existe documento escrito acerca de esos métodos, por ello en esta tesis se describen en forma detallada para que sean entendibles por el ingeniero y el técnico, sirviendoles de guía en el desarrollo de esta actividad.

En los métodos de cálculo y medición de la onda de superficie se utilizan una serie de gráficas similares a las que contiene RULES AND REGULATION de la FCC.

Las gráficas de conductividad eléctrica o atenuación de onda de tierra están calculadas básicamente con las ecuaciones de Vander Pol y Sommerfeld, para una $\epsilon = 15$ y se utilizan tanto para cálculos teóricos de áreas de servicio e interpretación de mediciones.

Las curvas para determinar la intensidad de campo característica en forma

teórica fueron desarrolladas en base a mediciones en el campo, y se utilizan para fines de planificación, pero al ser instalada una estación deben efectuarse mediciones encaminadas a comprobar los resultados teóricos.

Las curvas para el 10% y el 50% del tiempo de la onda reflejada que se utilizan están calculadas para una latitud geomagnética que corresponde a los E.E.U.U., por lo que los cálculos por este medio en nuestro país no son lo preciso que se quisiera, sin embargo los resultados obtenidos pueden considerarse razonablemente aceptables. En lo que se refiere a la medición de la señal de onda reflejada existen diferentes métodos, pero en este capítulo - se describe el utilizado en nuestro país.

La carta de conductividad de la República Mexicana es otro documento que es utilizado a menudo para la planificación y para determinar interferencias - por onda de superficie en forma teórica. Una carta de conductividad no es - precisa y solamente se utiliza para fines de planificación al aprobar nuevas estaciones y en ocasiones para resolver problemas de interferencias entre dos o más estaciones. Para obtener resultados más satisfactorios es necesario llevar a cabo mediciones de intensidad de campo eléctrico.

En cualquier problema de interferencia ya sea por onda de superficie o por onda reflejada, siempre prevalecen las mediciones sobre los cálculos o predicciones teóricas.

A continuación se describen los métodos de cálculo y medición, junto con una serie de ejemplos de estos estudios aprobados por la SCT; destacando que todos los métodos de cálculo y la medición del campo característico para un sistema omnidireccional son extraídos de la norma técnica correspondiente.

3.1. CALCULO Y MEDICION DE LA INTENSIDAD DE CAMPO CARACTERISTICA DE UN SISTEMA RADIADOR OMNIDIRECCIONAL.

La medición del campo característico se utiliza para determinar la eficiencia del sistema radiador, para ello la SCT fija el valor mínimo que se debe poner a una milla de acuerdo a la clase de estación, con el fin de que la radiodifusora cumpla con una cierta eficiencia, para que el servicio que preste a la comunidad sea aceptable.

Los valores máximos de intensidad de campo los fija la SCT en función de la protección que se debe brindar a otras estaciones.

3.1.1. Cálculo del campo característico.

Para calcular el campo característico de una antena vertical dentro de la banda de 535 a 1605 [KHz] se utiliza la gráfica del anexo I de la norma técnica de la SCT que ya se menciono la cual se adjunta. Teniendo como datos la altura de la antena, la longitud de los radiales del sistema y el número de estos, se puede calcular de la siguiente manera.

Ejemplo: Una estación radiodifusora opera en 920 [KHz] , la altura de la antena es de 85 [m] y el sistema de tierra está constituido de 120 radiales con 75 [m] de longitud cada uno.

En primer termino se calcula el valor de λ en [m]

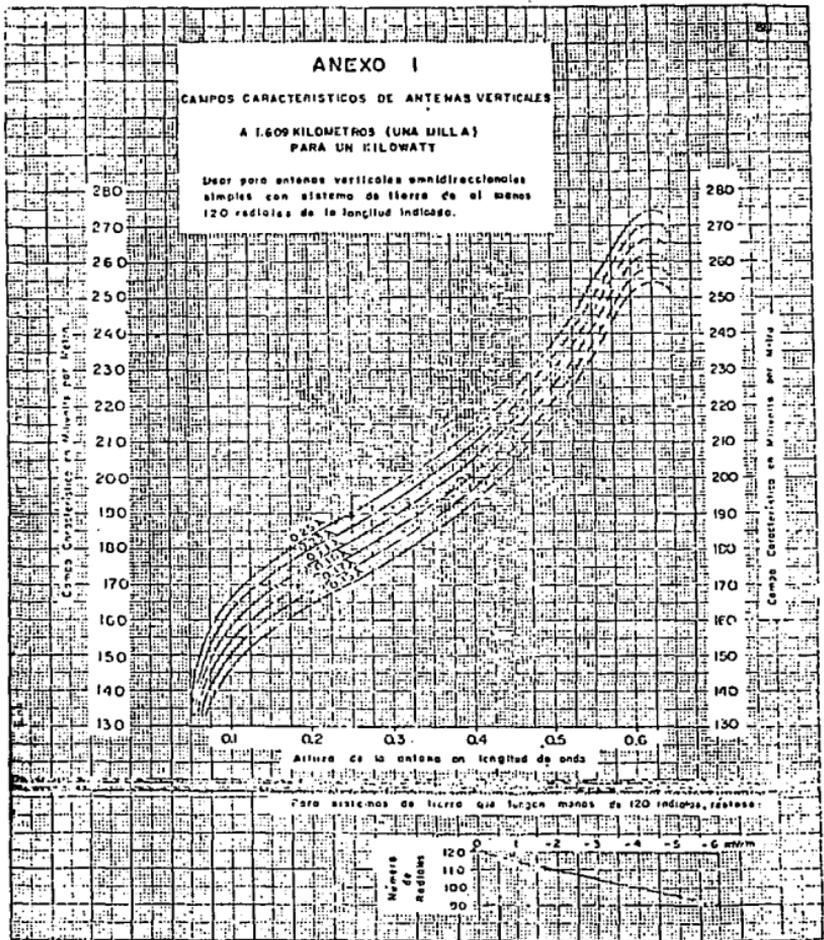
$$\lambda = \frac{300}{\text{MHz}} = \frac{300}{0.92} = 326.1 \text{ [m]}$$

ANEXO I

CAMPOS CARACTERÍSTICOS DE ANTENAS VERTICALES

A 1.609 KILOMETROS (UNA MILLA)
PARA UN KILOWATT

Usar para antenas verticales omnidireccionales
simples con sistema de tierra de al menos
120 radios de la longitud indicada.



mediante una regla de tres y sabiendo que $\lambda = 326.1$ [m], se calcula la longitud de la antena en fracciones de λ .

$$\frac{326.1}{1} = \frac{85}{x}$$

despejando x

$$x = \frac{85}{326.1} = 0.26 \lambda$$

En segundo término se calcula la longitud de los radiales en fracciones de λ que conforman el sistema de tierra.

$$\frac{326.1}{1} = \frac{75}{y}$$

despejando y

$$y = \frac{75}{326.1} = 0.23 \lambda$$

Una vez teniendo estos valores se pasa a la gráfica; en el eje de las abscisas se localiza la altura de la antena en fracciones de λ que se calculó, enseguida se sube hasta encontrar la intersección con la curva de la longitud de los radiales en λ para el valor calculado. Finalmente en el eje de las ordenadas se puede leer el valor de la intensidad del campo característica a 1609 [m] para 1 [Kw] de potencia. Para este ejemplo la intensidad de campo característica es:

$$\eta = 187.5 \text{ [mV/m]}$$

Si el sistema radiador tiene menos de 120 radiales, en la parte inferior - del anexo se localiza otra gráfica en donde se indica la cantidad de - - - [mV/m] que se tiene que restar al valor obtenido de intensidad de campo para 120 radiales.

3.1.2. Procedimiento para determinar las intensidades de campo aparente y característico de un sistema radiador omnidireccional.

Utilizando un medidor de intensidad de campo eléctrico recientemente cali-- brado y autorizado por la Dirección General de Telecomunicaciones, deben e-- fectuarse mediciones, a partir de puntos cercanos al elemento radiador, te-- niendo en cuenta que las radiaciones producidas por el mismo no se pueden considerar como si fueran originadas en un punto; por lo tanto, la distan-- cia mínima de medición no debe ser menor que una longitud de onda, ni de -- cinco veces la altura del elemento radiador, en el caso de un sistema di-- reccional, la distancia será mayor que diez veces la separación entre antenas.

Para fijar los puntos en los cuales se debén efectuar las mediciones, se lo-- calizará primero sobre un mapa, plano o aerofoto a escala adecuada, el lu-- gar en que está situado el radiador. Una vez localizado, se trazará una se-- rie de radiales sobre los que se fijarán los punto que se han de medir. El número de radiales puede ser variable, de acuerdo con las condiciones del - terreno y de la configuración del diagrama que se ha de medir, pero no po-- drá ser menor que ocho.

La orientación de los radiales dependerá también de las condiciones del te-- rreno, pero deben estar espaciados lo más uniformemente posible. Sobre cada

radial trazado se fijarán los puntos de medición de intensidad de campo eléctrico en la siguiente forma:

- a) Para la zona cercana al elemento radiador (a partir de la distancia - mínima aceptable) se fijarán puntos a intervalos de 100 [m] hasta una distancia de 1.5 [km].
- b) De 1.5 [km] a 3 [km] se deben fijar puntos cada 150 [m].
- c) De 3 [km] a 5 [km] se deben fijar los puntos cada 250 [m].
- d) De 5 a 10 [km] a intervalos de 500 [m].
- e) De 10 a 20 [km] a intervalos de 1000 [m].
- f) De 20 a 35 [km] a intervalos de 2000 [m].
- g) De 35 [km] en adelante cada 5000 [m].

Una vez que se han fijado los puntos para llevar a cabo las mediciones, se debe tener en cuenta que pueden existir factores que impidan efectuarse, en forma rigurosa, las mediciones en los lugares previstos, por lo cual se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:

Cuando los puntos localizados queden situados en zonas pobladas o existan - obstáculos que impidan tomar algunas mediciones, estas se efectuarán en puntos situados antes y después de los localizados. Si se trata de una ciudad, además, se procurará efectuar mediciones dentro de la misma, pero en lugares lo más despejado posible.

Cuando, a causa de un obstáculo, no se puedan efectuar mediciones a la distancia mínima indicada anteriormente, se efectuarán en puntos lo más cercano posible, pero a intervalos menores que los que correspondan sin existir el obstáculo.

Las mediciones de intensidad de campo invariablemente se harán dentro del

período comprendido entre dos horas después de la salida del sol y dos horas antes de la puesta del mismo, en el lugar donde se realizan las mediciones. Es necesario que, mientras se hagan las mediciones de intensidad de campo eléctrico, se vigile que la potencia entregada a la antena sea constante. Se sugiere que, durante el tiempo en que se están haciendo las mediciones, se hagan lecturas de los medidores a la salida del transmisor y en la base de la antena, cuando menos cada media hora.

Una vez que se hayan efectuado las mediciones en los radiales, se trazarán las curvas de atenuación de intensidad de campo, correspondientes a cada radial, contra la distancia, de acuerdo con cualquiera de los dos métodos siguientes.

- a) Usando papel logarítmico (log-log), graficar las intensidades de campo como ordenadas y las distancias como abscisas.
- b) Usando papel semilogarítmico, graficar las intensidades de campo multiplicadas por la distancia como ordenadas, sobre la escala logarítmica y las distancias como abscisas en la escala lineal.

Es recomendable utilizar papel transparente para graficar los valores de intensidad de campo.

Cualquiera que sea el método empleado, la curva representativa de la atenuación se encuentra comparando los puntos graficados contra las curvas teóricas de "Intensidad de campo de onda de tierra contra distancia", mostradas en el ejemplo. Para hacer las comparaciones se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

Colóquese la hoja en la cual se han trazado los puntos, sobre la gráfica correspondiente a la frecuencia. Póngase a contraluz, si es necesario, haciendo coincidir las abscisas en 1609 [m] (1 milla) y muévase hacia arriba o

o hacia abajo hasta encontrar la curva de onda de tierra que más se aproxime a los puntos graficados. Esta curva se calcará sobre la hoja que contenga los puntos. Sin mover la hoja, se calcará también la curva de la distancia inversa.

Para encontrar el valor de la intensidad de campo de distancia inversa - - 1609 [m] de este radial (campo no atenuado), bastará leer el valor de la ordenada, en la escala de los puntos graficados, correspondientes al cruce de la línea de 1609 [m] con la curva de la distancia inversa.

Se recomienda que en estos estudios se utilicen ampliificaciones lineales de las gráficas de intensidad de campo de onda de tierra.

Cuando se hayan analizado en la forma anterior todos los radiales, se graficarán los valores de la intensidad de campo no atenuado de todos los radiales, en papel de coordenadas polares. Uniendo estos puntos se obtendrá una curva representativa del diagrama de radiación horizontal de la intensidad de campo de distancia inversa. La intensidad de campo eléctrico aparente a 1609 [m] (RCM) estará representada por el radio de un círculo cuya área sea igual al área limitada por dicho diagrama. En forma analítica se puede calcular por la siguiente expresión:

$$E_{\text{aparente}} = \sqrt{\frac{\sum_{r=1}^{r=n} E_r^2}{n}} \quad [\text{mV/m}]$$

donde E_{aparente} = intensidad de campo aparente a 1609 [m].

E_r = intensidad de campo de distancia inversa, del radial.

n = número de radiales medidos.

A partir de este valor encontrado de la intensidad de campo aparente, se puede calcular la intensidad de campo característica de la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{E_{\text{aparente}}}{\sqrt{P_r} \text{ [Kw]}} \quad [\text{mV/m}]$$

Donde P_r es la potencia entregada al sistema radiador, η intensidad de campo característico.

Para determinar la potencia entregada es necesario conocer la corriente en la base de la antena (I_b) y la resistencia de radiación del elemento radiador (R_r) en el lugar donde se mide la corriente.

Los valores de I_b y R_r se obtienen en base a mediciones.

Los resultados de las mediciones efectuadas se presentarán en la siguiente forma:

1. Deben consignarse, en una tabla, los siguientes datos para cada radial:

- a) Distintivo de llamada de la estación.
- b) Frecuencia.
- c) Ubicación de la estación, con sus coordenadas en grados, minutos y segundos.
- d) Potencia autorizada y potencia de operación en el momento de las mediciones.
- e) Fecha.
- f) Clasificación del radial.
- g) Acimut del radial.
- h) Número de puntos sobre el radial.
- i) Distancia del radiador en metros.
- j) Intensidad de campo eléctrico (E) en $[\text{mV/m}]$.

k) Hora de la medición.

1) Descripción del lugar donde se efectuó la medición y condiciones -
metereológicas imperantes (datos topográficos, húmedo, lluvioso, lí-
neas de alta tensión, etc.)

2. Mapa, plano o aerofoto (de escala no mayor de 1:50,000) en el que se
indiquen los puntos donde se efectuaron las mediciones; numerando, de a-
cuerdo con la tabla, los radiales y los puntos de medición radial.

3. Curvas de atenuación de la intensidad de campo eléctrico a lo largo de
cada radial.

4. Diagrama de intensidad de campo de distancia inversa a la escala ade-
cuada en papel de coordenadas polares, indicando además la intensidad de
campo aparente y el norte verdadero.

5. Medición de la resistencia del elemento radiador:

a) Curvas que representen la resistencia y la reactancia en función de
la frecuencia, tomando por lo menos tres lecturas arriba y tres abajo
de la frecuencia de operación, dentro de una banda de 60 [KHz].

b) Tabla de los datos obtenidos.

c) Descripción del método empleado.

6. Descripción del sistema radiador y del sistema de tierra (dimensiones
físicas, etc.).

7. Valores de corriente en la base del elemento radiador durante el tiem
po en que se efectuaron las mediciones de intensidad de campo.

8. Cálculo de la potencia entregada en la base del elemento radiador.

9. Cálculo de las intensidades de campo efectivo y característico.

10. Descripción y exactitud de los instrumentos utilizados en las medicio
nes.

11. Nombre, dirección y número de registro del perito en telecomunicaciones responsable del trabajo.
12. Cualquier información que se considere pertinente.

3.1.3. Medición del campo característico a la estación radiodifusora —
XETAA de Torreón, Coah.

Para asegurar la confiabilidad de la señal de una estación radiodifusora la SCT tiene un control estricto sobre la eficiencia de los sistemas de radiación; para fines de planificación utiliza el Anexo I de la norma técnica — mostrado con anterioridad para determinar lo que se denomina intensidad de campo característico que es la radiación sin atenuar producida por una antena a 1609 [m].

De acuerdo con la norma los valores obtenidos en el cálculo y la medición no deben de ser inferiores a los establecidos en la tabla 2.2. del segundo capítulo.

La norma técnica establece que deben medirse 8 radiales en forma uniforme a partir de la antena, sin embargo dadas las dificultades para desarrollar esto se midieron 5 radiales en el presente estudio; esta situación es aceptada por la Secretaría dadas las condiciones físicas existentes.

La cantidad de radiales no solamente depende de las vías de comunicación — existentes sino de la topografía de la zona a medir, selvas, grandes lagos, mares o zonas fronterizas; este caso también se presenta al medir el diagrama de radiación de un sistema direccional.

En lo referente al control de la potencia de operación de la estación, du-

rante el transcurso de las mediciones deben anexarse al estudio tablas que contemplen la lectura de las corrientes tomada en la base de la antena cada 30 minutos durante el tiempo de medición, con esta información y la parte resistiva de la impedancia medida en la base de la antena que debe proporcionar el responsable técnico de la estación, se calcula la potencia entregada a la antena que sirve para determinar el campo característico medido.

El estudio que se presenta a continuación se refiere a la medición del campo característico del sistema radiador de la estación XETAA - 920 [KHz] - - - 1 [Kw] , de la Cd. de Torreón Coah., el cual contempla las partes más características del mismo.

ANEXO - PCE - AM - II - A

XETAA - 920 kHz - 1 Kw.

TORREON, COAH.

Z= 37 + j7

Control de la Potencia

18/I/90.

HORA	Ib ant.	OBSERVACIONES
10:00	5.4	N I N G U N A
10:30	5.4	"
11:00	5.4	"
11:30	5.4	"
12:00	5.4	"
12:30	5.4	"
13:00	5.4	"
13:30	5.4	"
14:00	5.4	"
14:30	5.4	"
15:00	5.4	"
15:30	5.4	"
16:00	5.5	"
16:30	5.4	"
17:00	5.4	"

ANEXO - PCE - AM - II - C
XETAA - 920 kHz - 1 Kw
TORREON, COAH.

Mediciones a 1609 metros

PUNTO	HORA	AZIMUT	mV/m	OBSERVACIONES
I	12:30	10°	120	Lineas eléctricos.
II	14:27	304°	160	Despejado
III	10:58	126°	120	"
IV	16.28	170°	172	"
V	10.45	210°	160	Lineas eléctricos.

ANEXO - PCE - AM - II - B

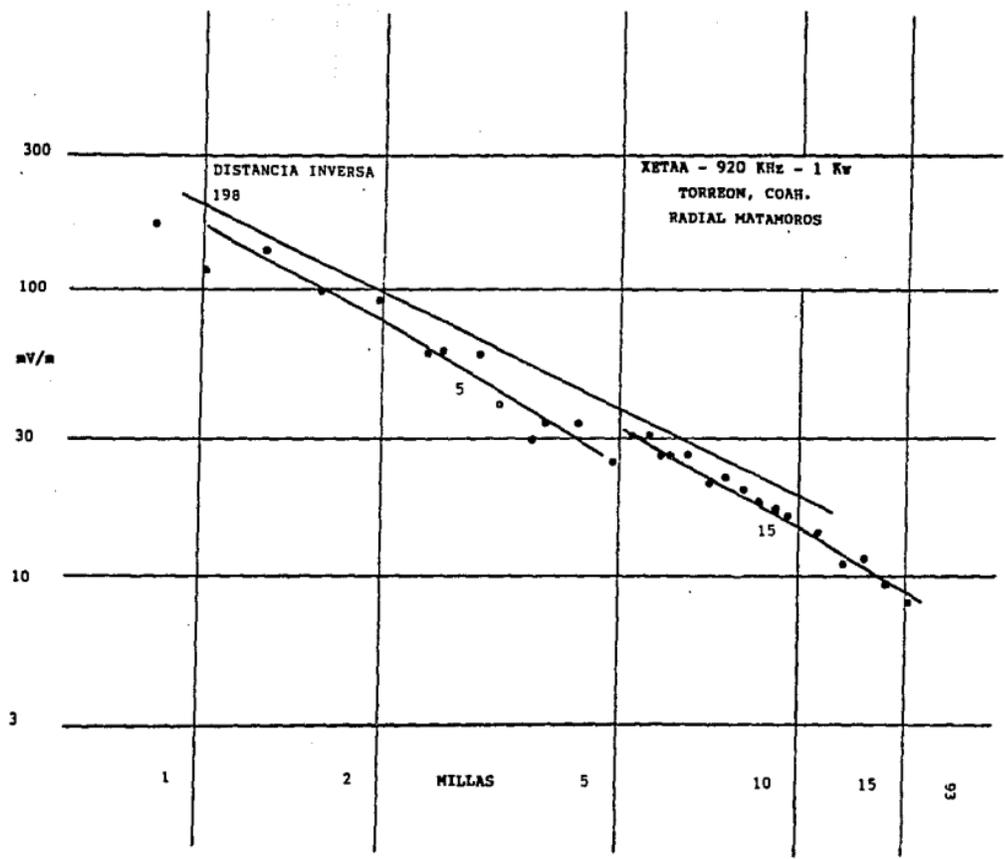
XETAA - 920 kHz - 1 Kw.

TORREON, COAH.

RADIAL MATAMOROS

19/I/90.

PUNTO	HORA	mV/m	DISTANCIA		OBSERVACIONES
			Km	Millas	
1	10:52	170	1.35	0.83	Despejado
2	10:58	120	1.65	1.02	"
3	11:02	140	2.05	1.27	"
4	11:06	100	2.52	1.57	"
5	11:12	93	3.15	1.96	"
6	11:23	60	3.82	2.37	Semidespejado
7	11:27	62	4.05	2.52	Lineas eléctricas
8	11:31	60	4.65	2.89	Despejado
9	11:35	40	5.00	3.11	Semidespejado
10	11:44	30	5.67	3.52	Lineas eléctricas
11	11:49	34	5.95	3.70	Semidespejado
12	11:53	34	6.85	4.26	"
13	11:57	25	7.75	4.82	"
14	12:00	31	8.39	5.21	Despejado
15	12:04	31	8.95	5.58	"
16	12:08	26	9.36	5.82	"
17	12:12	26	9.77	6.07	"
18	12:16	26	10.43	6.48	"
19	12:20	21	11.26	7.00	"
20	12:24	22	12.05	7.49	"
21	12:31	20	12.92	8.03	"
22	12:34	18	13.78	8.56	"
23	12:37	17	14.66	9.11	"
24	12:40	16	15.37	9.55	"
25	12:45	14	17.30	10.75	"
26	12:50	11	19.07	11.85	"
27	12:55	11.5	20.72	12.88	"
28	12:58	9.2	22.52	14.00	"
29	13:04	8	24.35	15.13	"



XETAA - 920 kHz - 1 Kw.

TORREON, COAH.

CALCULO DEL CAMPO CARACTERISTICO

PARAMETROS DE OPERACION

$$Z_b = 37 + j7$$

$$I_b = 5.4 \text{ [A]}$$

CALCULO DE LA POTENCIA

$$P = 5.4^2 \times 37$$

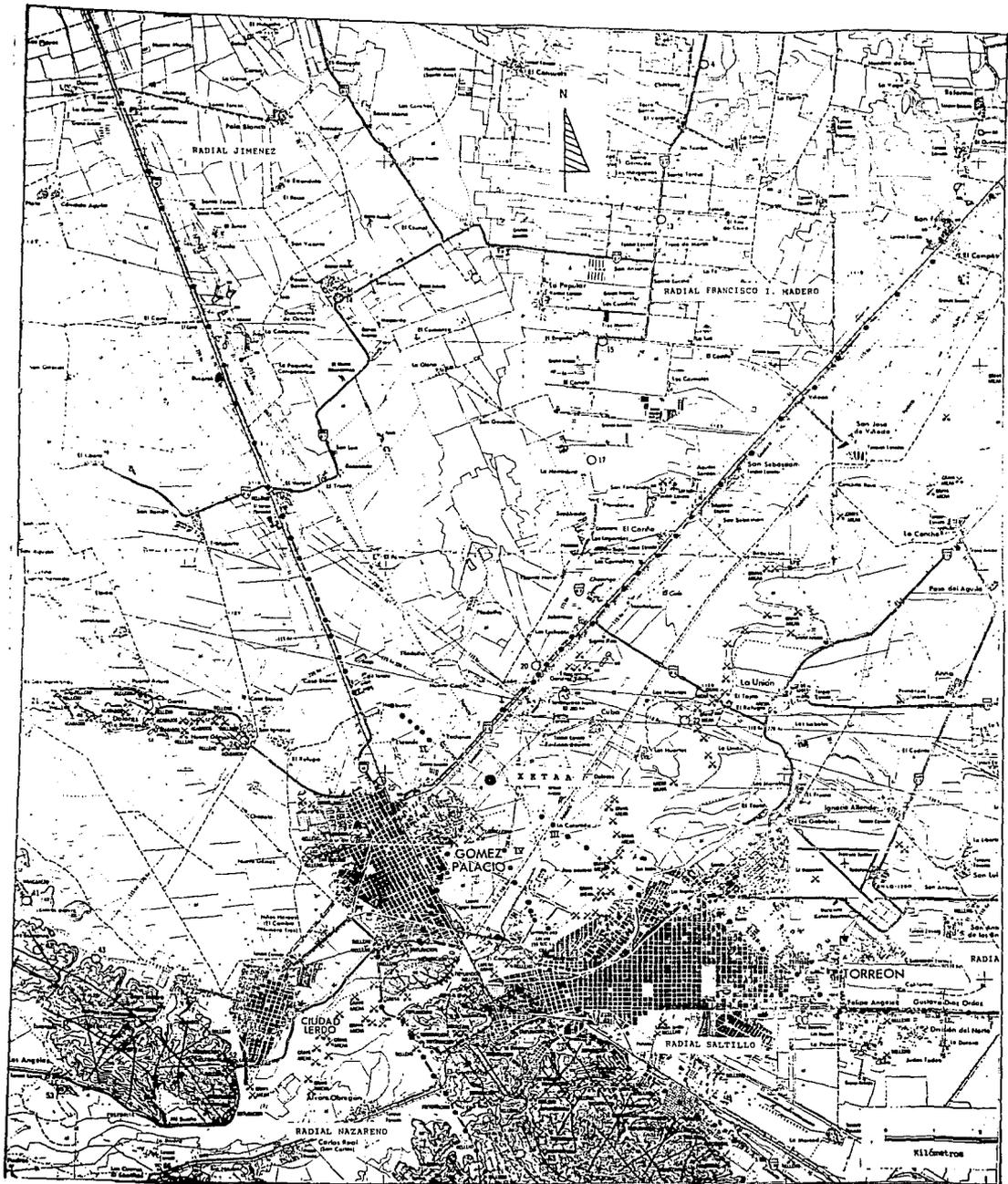
$$P = 1078.92 \text{ [W]}$$

RADIAL Jiménez	200^2 [mV/m]	40,000
RADIAL Fco. I. Madero	182^2 "	33,124
RADIAL Matamoros	198^2 "	39,204
RADIAL Saltillo	193^2 "	37,249
RADIAL Nazareno	183^2 "	33,489
		<hr/>
		183,066

$$E_{ap} = \sqrt{\frac{183,066}{5}} = 191.34 \text{ [mV/m]}$$

$$h = \frac{191.34}{\sqrt{1.0789}} = 184.21 \text{ [mV/m]}$$

NOTA: Durante las mediciones de intensidad de campo se utilizo' un medidor marca POTOMAC-FIM-41.



3.2. MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA DE RADIACION EN EL PLANO HORIZONTAL Y EL CAMPO CARACTERISTICO, DE UN SISTEMA -- RADIADOR DIRECCIONAL.

En ocasiones la SCT no aprueba la operación de una antena omnidireccional en virtud de que debido a las restricciones impuestas por otras estaciones en cuanto a su radiación, es necesario dar protección en determinados acimuts, por lo cual la Secretaría fija los valores de estas restricciones con las cuales el ingeniero o técnico debe calcular el diagrama de radiación en el plano horizontal y vertical de tal manera que cumpla con lo establecido por la SCT.

En esta tesis no se presenta el desarrollo matemático de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los diagramas horizontal y vertical porque -- llevaría mucho espacio; en la documentación que se presenta ante la SCT únicamente se muestran las ecuaciones que se utilizan en el cálculo final.

Al diagrama de radiación teórico debe de calcularsele el valor de intensidad de campo RCM, con este valor se calcula la intensidad de campo por -- [Kw] de potencia radiada que es equivalente a la intensidad de campo ca racterística.

Entre los requisitos que fija la SCT para la autorización definitiva de un sistema direccional de antenas, se encuentra el de medir el diagrama de ra diación del sistema direccional, el cual una vez medido debe ser similar al teórico aprobado, con tolerancias que la Secretaría fija en los parámetros máximos y mínimos.

Durante el transcurso de las mediciones de intensidad de campo se debe te--

ner cuidado de que las corrientes en la base de la antena y en el punto -- común de alimentación a las dos torres, no presenten variaciones superiores a $\pm 5\%$ y en lo que se refiere a las fases la máxima tolerancia es de $\pm 3^\circ$.

En páginas siguientes, se presenta el diagrama de radiación autorizado, el procedimiento de medición del mismo y un ejemplo.

3.2.1. Procedimiento de medición del diagrama de radiación de sistemas radiadores direccionales.

Trazo de radiales.

Utilizando planos topográficos y aerofotos con escala no mayor de 1:50,000, se trazan los radiales por medir a partir del sistema radiador; la cantidad de radiales debe estar de acuerdo con la complejidad del diagrama de radiación pero en ningún momento será inferior a ocho, los cuales serán distribuidos de acuerdo a la forma de radiación, como por ejemplo, en dirección de los nulos, lóbulos menores, mínimos, etc. ; tomando en consideración también las facilidades de desplazamiento en el campo. Es recomendable que durante las mediciones en la zona cercana al sistema radiador se utilicen mapas o aerofotos a menor escala de la que se menciona, como por ejemplo 1:20,000 ó 1:10,000 esto se debe a que a distancias cortas se pierden los detalles en mapas ó aerofotos con escalas muy grandes lo cual dificulta la ubicación de los puntos de medición.

La distancia mínima aceptable a la que deben iniciarse las mediciones no será menor a diez veces la separación de las antenas esto es debido a que se considera que la radiación producida por el sistema radiador no es ori-

ginada en un punto.

La longitud mínima de los radiales debe ser de 16 [Km] , sin embargo cuando exista la imposibilidad de medir a esta longitud, debido a accidentes topográficos, zonas boscosas, ríos, lagos, mar ó frontera común con otro país, los radiales pueden ser de menor longitud.

Sobre cada radial trazado se fijarán los puntos de medición de intensidad de campo eléctrico en la siguiente forma:

- a) Para la zona cercana a los elementos radiadores (a partir de la distancia mínima aceptable) se fijarán puntos a intervalos de 100 [m] hasta una distancia de 1.5 [Km].
- b) De 1.5 [Km] a 3 [Km] se deben fijar puntos cada 150 [m].
- c) De 3 [Km] a 5 [Km] se deben fijar puntos cada 250 [m].
- d) De 5 [Km] a 10 [Km] a intervalos de 500 [m].
- e) De 10 [Km] a 20 [Km] a intervalos de 1000 [m].
- f) De 20 [Km] a 35 [Km] a intervalos de 2000 [m].
- g) De 35 [Km] en adelante cada 5000 [m].

No obstante lo anterior, la separación entre los puntos de medición puede variar de acuerdo a las condiciones del terreno, especialmente en zonas urbanas y de difícil acceso. Durante el trabajo de campo, al tener que -- variar la ubicación de un punto de medición se procurará que la desviación del mismo no sea superior a $\pm 7.5^\circ$ a partir de la trayectoria original.

Cuando se trate de radiales en dirección de los mínimos ó los nulos debe procurarse que todas las mediciones se hagan sobre la trayectoria del migmo; lo anterior obedece a que una medición fuera de la trayectoria del ra

dial puede reflejarse en un incremento considerable en la intensidad de -- campo medida.

Sin embargo en todos los casos, la cantidad de mediciones, la longitud y -- número de radiales, debe ser suficiente para el trazo preciso de la ó las curvas de atenuación y de distancia inversa que se obtengan al graficar -- los valores medidos en los radiales.

Con fines de comprobación posterior del diagrama de radiación medido, se -- seleccionarán cuando menos 4 puntos de control a 1609 [m] en los radiales medidos, los que estarán ubicados en los núlos y los máximos del lóbulo -- mayor y de los menores, los cuales se harán resaltar en el mapa y en las -- tablas de los radiales y las mediciones a 1609 [m].

Desarrollo de las mediciones.

Las mediciones se iniciarán 2 horas después de la salida del sol y finali-- zarán 2 horas antes de la puesta del sol, para ello se utilizará un medi-- dor de intensidad de campo calibrado recientemente y autorizado por la Se-- cretaría de Comunicaciones y Transportes, antes del inicio de las mismas de -- be tenerse cuidado de que la estación se encuentre operando con los paráme-- tros autorizados.

Con el fin de determinar con exactitud, los nulos, los lóbulos menores, los -- máximos y para tener una idea aproximada de la forma de radiación; se lle-- van a cabo primeramente mediciones de intensidad de campo a 1609 [m] del -- sistema radiador, la cantidad mínima de mediciones será de 25, efectuando el mayor número de mediciones en las zonas críticas del diagrama de radia-- ción, tales como los nulos, los lóbulos menores y los mínimos; debiendo --

localizarse estos con exactitud; lo anterior es con el fin de determinar si se tiene la necesidad de modificar el acimut de algún radial, principalmente el de los nulos y mínimos. Una vez efectuado lo anterior se procede a la medición de los radiales teniendo en cuenta que pueden existir obstáculos, como por ejemplo cerros, edificios, líneas de energía eléctrica, vías de ferrocarril y otros, que impidan que las mediciones se realicen a las distancias previstas, en estos casos se mide antes y después del obstáculo, continuando posteriormente a las distancias consideradas; invariablemente las mediciones se efectúan procurando los lugares más despejados y planos. Cuando los puntos de medición estén comprendidos dentro de la ciudad, los intervalos de distancia de cada uno de ellos puede ser menor a los enumerados anteriormente, realizandose cuando menos 3 mediciones en cada punto dentro de una circunferencia con radio de aproximadamente 5 [m] , procurando alejarse la mayor distancia posible, de estructuras metálicas y líneas de energía eléctrica aéreas y subterráneas, en realidad el valor de intensidad de campo que se anota es la mediana de los valores medidos dentro de la circunferencia en cuestión.

Adicionalmente se llevan a cabo los trabajos necesarios para determinar la altura, la separación y la orientación de las torres que componen el sistema direccional. Es importante que durante el desarrollo de las mediciones - se tenga un control de la potencia procurando que se conserve constante, para esto se toman lecturas cada media hora de la corriente en la base de las torres, y de los medidores de paso final de Radio Frecuencia (RF) del transmisor, haciendo las anotaciones correspondientes; asimismo se anotan las fases de las corrientes de los elementos radiadores.

De existir alguna variación considerable en los parámetros de operación anotados, deben efectuarse nuevamente las mediciones de intensidad de campo tomadas durante el período de variación.

Interpretación de datos de campo.

Los valores de intensidad de campo medidos en cada radial y la distancia --- al radiador de cada uno de los puntos de medición se grafican sobre papel -- logarítmico transparente, en el cual la intensidad de campo está dada en --- el eje de de las ordenadas y la distancia en el eje de las abscisas, el tamaño de la escala de dicho papel será igual al de las curvas teóricas amplificadas de "Intensidad de Campo por Onda de Tierra contra Distancia" correspondientes al Anexo IV de las "Normas para Instalar y Operar Estaciones de Radio difusión en la Banda de 535 a 1605 [KHz]".

La curva o las curvas de atenuación se encuentran deslizando la gráfica -- transparente en forma vertical hacia arriba y hacia abajo sobre las curvas teóricas, utilizando como referencia la distancia a 1609 [m] (1 milla) de ambas gráficas, hasta encontrar la curva ó curvas que se aproximen más al mayor número de puntos graficados; sin mover el papel transparente se calcan estas curvas y se anotan sus valores de conductividad, asimismo también se calca la curva de distancia inversa; el valor de la intensidad de campo de distancia inversa se puede leer en la intersección de la ordenada de una milla con la curva de distancia inversa. Los valores de intensidad de campo eléctrico de distancia inversa obtenidos, se grafican en papel de coordenadas polares de acuerdo al acímut que le corresponda, uniendo posteriormente los puntos graficados en una línea curva suave para obtener finalmente el diagrama de radiación medido.

Para obtener la intensidad de campo E_{RCM} del diagrama de radiación medido puede utilizarse un planímetro ó calcularse a través de la siguiente ecuación ya antes citada en el capítulo I.

$$E_{RCM} = \sqrt{\frac{E_{10^\circ} + E_{20^\circ} + \dots + E_{360^\circ}}{36}}$$

Donde:

E_{RCM} = Valor raíz cuadrático medio de los valores de intensidad de campo en [mV/m] , a 1609 [m] tomados del diagrama de radiación.

E = Valores de intensidad de campo en [mV/m] , a 1609 [m] tomados del diagrama de radiación medido de 10° hasta 360°.

Con el valor E_{RCM} se determina la intensidad de campo característica, a través de la misma ecuación que se utiliza para un sistema omnidireccional.

$$\eta = \frac{E_{RCM}}{\sqrt{PF}}$$

Presentación de los resultados.

1. Una breve reseña de la forma en que se llevarán a cabo las mediciones, anotando lo que se considere importante, las fórmulas y los cálculos efectuados, la impedancia de trabajo de las torres y del sistema, las dimensiones, separación y orientación del eje de las torres.
2. Tabla que contenga los valores de intensidad de campo medidos a 1609 [m] .
3. Gráfica de intensidad de campo medidos a 1609 [m] , en papel polar.
4. Tablas de valores de intensidad de campo medidos para cada radial que

contenga los datos que se muestran en el ejemplo.

5. Curvas de atenuación de la intensidad de campo para cada radial, anotando la conductividad y la curva de distancia inversa de campo obtenido.
6. Tabla de lecturas en los medidores del paso final de RF del transmisor y en la base de las antenas.
7. Diagrama de radiación medido indicando el valor E_{RCM} y la orientación del eje de las torres.
8. Mapa, plano o aerofoto 1:50,000 ó menor que muestre los puntos de medición sobre los radiales y la clasificación de los mismos, la ubicación del sistema radiador, el norte verdadero, las escalas gráfica y numérica.
9. Toda la documentación presentada debe estar avalada con la firma y nombre de un Perito con especialidad en Radiodifusión en AM, con licencia vigente.

3.2.2. Medición del diagrama de radiación de la estación radiodifusora XELG de León, Gto.

Es un requisito indispensable que el concesionario o permisionario de una estación radiodifusora presente ante la SCT los resultados del cálculo teórico y la medición del mismo con la finalidad de comprobar la semejanza entre los dos diagramas; no obstante la Secretaría tolera un cierto grado en la diferencia, principalmente en los máximos y los nulos del diagrama, siempre que se proporcionen las protecciones fijadas para salvaguardar a otras estaciones.

La medición del diagrama de radiación direccional es más compleja que la medición en un sistema omnidireccional, ya que en la mayoría de las ocasiones los radiales no coinciden con las vías de comunicación de la localidad,

por ello el tiempo de medición es mayor. Como se explicó en el procedimiento a seguir para la medición del diagrama de radiación, la distribución de los radiales a medir se hace de acuerdo a la forma del diagrama teórico, dependiendo su cantidad de la complejidad del mismo. En los radiales que se encuentran los acimuts de los mínimos o de los nulos las mediciones se hacen en la trayectoria exacta del radial. En el estudio referente a la XELG que se muestra, los radiales orientados hacia el norte resultaron de una longitud más corta que la contemplada en la norma debido a la topografía agreste del lugar.

Para el cálculo del campo característico se sigue el mismo procedimiento que para un sistema omnidireccional, la única variante es que el valor RCM ó aparente se calcula tomando los valores de intensidad de campo del diagrama medido cada 10°.

A continuación se presenta un estudio de la medición del diagrama de radiación realizado en la Cd. de León, Gto a la estación XELG - 680 KHz - 5 Kw; el estudio por razones de espacio no se muestra en forma completa, pero da una idea íntegra del trabajo que se realizó.

DESCRIPCION DEL SISTEMA DIRECCIONAL DE RADIACION
OPERACION NOCTURNA.

ESTACION <u>X ELG</u>	ESTUDIOS EN <u>León Gto.</u>
FRECUENCIA <u>680 KHz.</u>	POTENCIA <u>10 Kw. D-5 Kw. N</u>
CLASE <u>II</u>	LISTA DE CAMBIO _____
LOCALIZACION GEOGRAFICA	LONGITUD 101° 41' 01" W
DEL SISTEMA RADIADOR	LATITUD 21° 07' 08" N
AUTORIZADO PARA OPERACION	A D - N
NUMERO DE ELEMENTOS RADIADORES	D O S .
TIPO DE ELEMENTOS RADIADORES	TORRES VERTICALES DE FIERRO SOPORTADAS CON RETENIDAS Y ALIMENTADAS EN SERIE.
TORRES	SUR NORTE
ALTURA SOBRE AISLADORES	90° 90° = 110 m.
SEPARACION ENTRE TORRES	90° = 110 m.
MAGNITUDES RELATIVAS DE CORRIENTES	1 1
DEFASAMIENTO	105° 0°
AZIMUT DEL EJE DE LAS TORRES	0° 00' 00"
RAIZ CUADRATICA MEDIA	412 mV/m
INTENSIDAD DE CAMPO R.C.M. NO ATENUADO A UN KILOMETRO POR KILOWATT DE POTENCIA RADIADA.	184 mV/m

PATRON DE RADIACION HORIZONTAL

X ELG

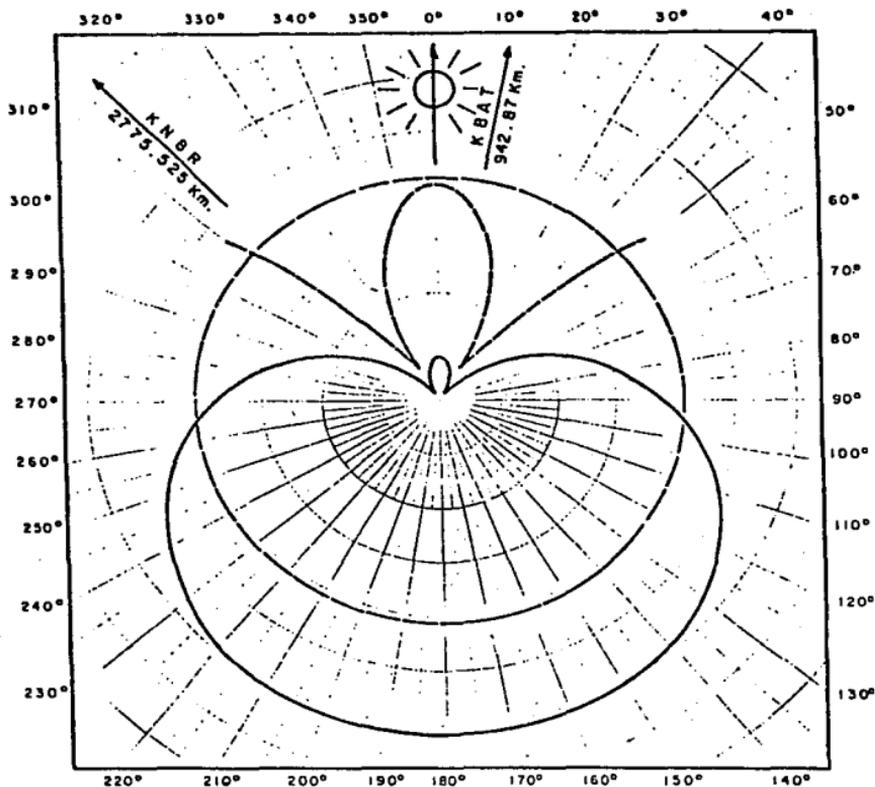
5 000 Watts.

680 KHz.

León Gto.

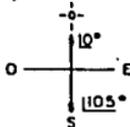
$$E = 310.7 \times 2f(\theta) \cos\left(\frac{k}{2} \cos \vartheta \cos \theta + \frac{\pi}{2}\right)$$

I	II	III	IV	V	VI	VII
ϑ	$\cos \vartheta$	$\frac{k}{2} \cos \vartheta$	$\cos \frac{\pi}{2}$	$\cos IV$	$2 \times V$	$310.7 \times IV$ mV/m
0°	1.0000	45.0000	97.500°	0.13053	0.26106	81.11
10°	0.9848	44.3160	96.816°	0.11869	0.23738	73.75
20°	0.9357	42.2865	94.786°	0.08339	0.16678	51.82
30°	0.8660	38.9700	91.470°	0.02560	0.05120	15.91
40°	0.7660	34.4700	86.970°	0.05292	0.10584	32.88
50°	0.6428	28.9260	81.426°	0.14925	0.29850	92.74
60°	0.5000	22.5000	75.000°	0.25882	0.51764	160.83
70°	0.3420	15.3900	67.890°	0.37649	0.75298	233.95
80°	0.1736	7.8120	60.312°	0.49521	0.99042	307.72
90°	0.0000	0.0000	52.500°	0.60876	1.21752	378.26
100°	-0.1736	-7.8120	44.688°	0.71100	1.42200	441.815
110°	-0.3420	-15.3900	37.110°	0.79741	1.59482	495.510
120°	-0.5000	-22.5000	30.000°	0.86602	1.73204	538.14
130°	-0.6428	-28.9260	23.574°	0.91659	1.83318	569.57
140°	-0.7660	-34.4700	18.030°	0.95088	1.90176	590.88
150°	-0.8660	-38.9700	13.530°	0.97223	1.94446	604.14
160°	-0.9337	-42.2865	10.213°	0.98414	1.96828	611.54
170°	-0.9848	-44.3160	8.184°	0.98982	1.97964	615.07
180°	-1.0000	-45.0000	7.500°	0.99144	1.98288	616.08
190°	-0.9848	-44.3160	8.184°	0.98982	1.97964	615.07
200°	-0.9337	-42.2865	10.213°	0.98414	1.96828	611.54
210°	-0.8660	-38.9700	13.530°	0.97223	1.94446	604.14
220°	-0.7660	-34.4700	18.030°	0.95088	1.90176	590.88
230°	-0.6428	-28.9260	23.574°	0.91659	1.83318	569.57
240°	-0.5000	-22.5000	30.000°	0.86602	1.73204	538.14
250°	-0.3420	-15.3900	37.110°	0.79741	1.59482	495.51
260°	-0.1736	-7.8120	44.688°	0.71100	1.42200	441.81
270°	0.0000	0.0000	52.500°	0.60876	1.21752	378.26
280°	0.1736	7.8120	60.312°	0.49521	0.99042	307.72
290°	0.3420	15.3900	67.890°	0.37649	0.75298	233.95
300°	0.5000	22.5000	75.000°	0.25882	0.51764	160.83
310°	0.6428	28.9260	81.426°	0.14925	0.29850	92.74
320°	0.7660	34.4700	86.970°	0.05292	0.10584	32.88
330°	0.8660	38.9700	91.470°	0.02560	0.05120	15.91
340°	0.9337	42.2865	94.786°	0.08339	0.16678	51.82
350°	0.9848	44.3160	96.816°	0.11869	0.23738	73.75



— PATRON DE RADIACION HORIZONTAL CALCULADO A 1609 m. —

Esquema de orientación
del eje de torres.



RADIO IMPULSORA DEL
CENTRO, S.A.
XELG

Leon, Gto.

680 KHz.
5000 W-N

XELG - 680 kHz - 5 Kw ADN

LEON, GTO.

CONTROL DE LA POTENCIA

15/VI/91

HORA	AMPERES		FASE EN GRADOS		OBSERVACIONES
	I _{T1}	I _{T2}	T ₁	T ₂	
8:00	9.9	9.9	0	105°	N I N G U N A
8:30	9.9	9.9	0	105°	"
9:00	9.9	9.9	0	105°	"
9:30	9.9	9.9	0	105°	"
10:00	9.9	9.9	0	105°	"
10:30	9.8	9.8	1	106°	"
11:00	9.7	9.8	1	106°	"
11:30	9.9	9.9	0	105°	"
12:00	9.9	9.9	0	105°	"
12:30	9.7	9.8	1	104°	"
13:00	9.7	9.8	0	105°	"
13:30	9.9	9.9	1	106°	"
14:00	9.9	9.9	0	105°	"
14:30	9.9	9.9	1	105°	"
15:00	9.9	9.9	0	105°	"
15:30	9.9	9.9	0	105°	"
16:00	9.9	9.9	0	105°	"
16:30	9.9	9.9	0	105°	"
17:00	9.9	9.9	0	105°	"
17:30	9.9	9.9	0	105°	"
18:00	9.9	9.9	0	105°	"

XELG - 680 kHz - 5 Kw - ADN

LEON , GTO.

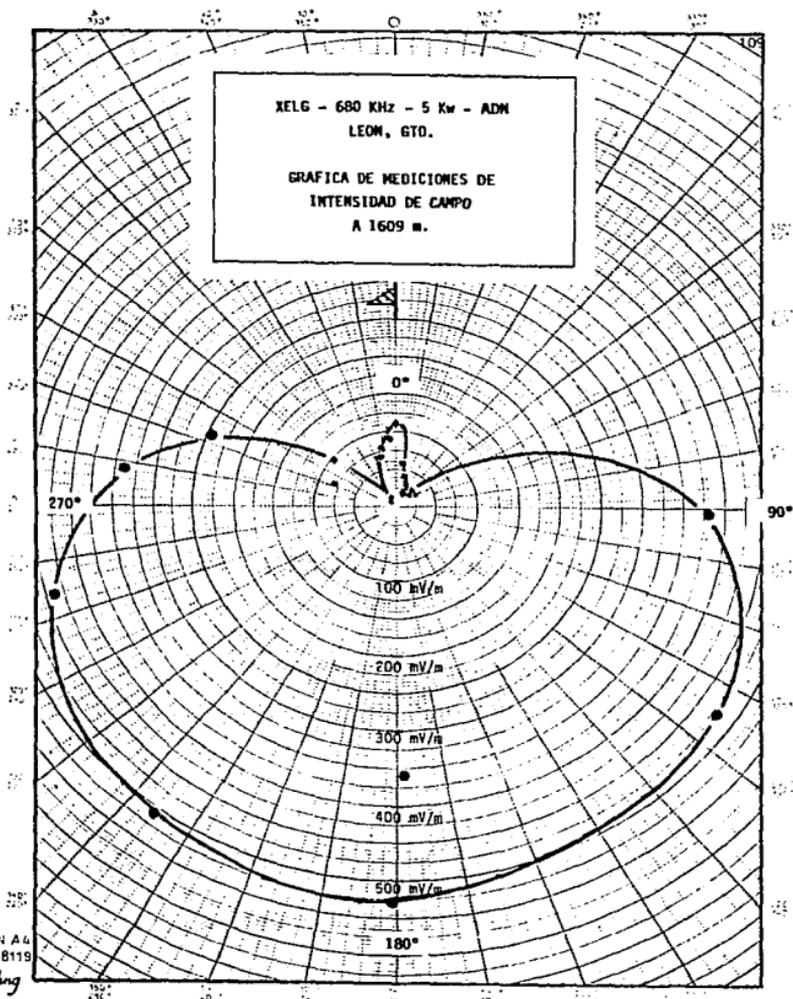
Mediciones a 1609 metros

15/VI/91

PUNTO	HORA	AZIMUT	mV/m	OBSERVACIONES
1	11:02	0.05°	110.0	Semidespejado
2	10:59	9°	58.0	"
3	10:55	17°	41.0	"
4	10:45	24°	32.0	"
5	10:48	29°	23.0	"
6	10:46	33°	23.0	"
7	10:50	38°	28.0	"
8	13:29	46.5°	28.5	"
9	13:12	91°	380.0	"
10	12:45	122.5°	475.0	"
11	12:24	178.5°	360.0	"
12	12:32	180.5°	535.0	"
13	12:14	216°	510.0	"
14	12:04	254°	440.0	"
15	11:51	278.5°	340.0	"
16	11:45	292°	80.0	"
17	11:48	293°	245.0	"
18	11:40	310°	97.0	"
19	11:28	327.5°	12.0	"
20	11:34	330°	13.0	"
21	11:17	344°	69.0	"
22	11:13	349°	78.0	"
23	11:10	355°	90.0	"

XELG - 680 KHz - 5 Kw - ADM
LEON, GTD.

GRAFICA DE MEDICIONES DE
INTENSIDAD DE CAMPO
A 1609 m.



DIN A4
Nr. B119

Yang

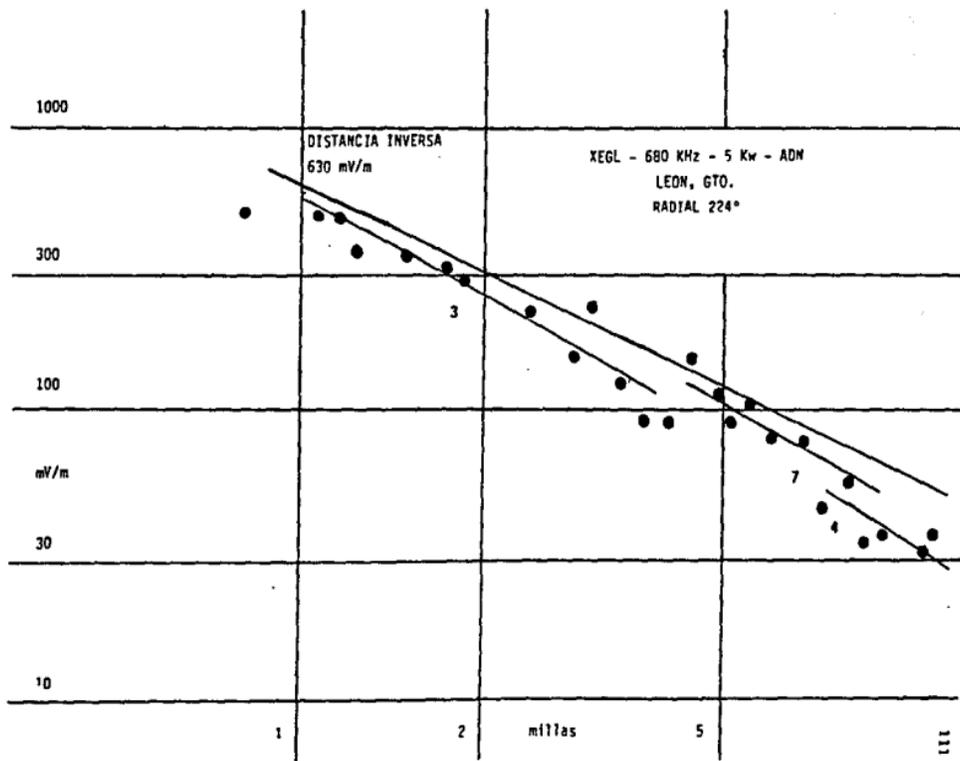
XELG - 680 kHz - 5 Kw - ADN

LEON , GTO.

RADIAL ACIMUT 224°

16/VI/91

PUNTO	HORA	mV/m	Kms	OBSERVACIONES
1	15:08	500.0	0.60	Despejado
2	14:50	480.0	1.70	"
3	14:46	470.0	1.85	Semidespejado
4	14:40	360.0	1.98	"
5	14:32	345.0	2.40	"
6	14:28	318.0	2.80	Despejado
7	14:22	285.0	3.00	"
8	14:15	220.0	3.85	"
9	14:10	152.0	4.52	Líneas eléctricas a 10 m.
10	14:06	227.0	4.85	Zona urbana, semidespejado
11	14:02	122.0	5.26	" "
12	13:57	92.0	5.94	" "
13	13:52	90.0	6.50	" "
14	13:44	150.0	7.13	" "
15	13:40	112.0	7.90	Despejado
16	12:16	90.0	8.30	"
17	12:13	103.0	8.92	"
18	12:00	80.0	9.76	"
19	9:39	76.0	11.00	Semidespejado
20	10:22	45.0	11.90	"
21	10:18	55.0	13.13	"
22	10:16	34.0	13.90	Despejado
23	10:01	36.0	14.95	"
24	10:05	31.5	17.44	"
25	10:10	36.0	18.12	"



INTENSIDAD DE CAMPO DE DISTANCIA
INVERSA DE LOS RADIALES

RADIAL ACIMUT	DISTANCIA	INVERSA
0°	119	mV/m
30°	26	"
100°	380	"
143°	625	"
180°	660	"
224°	630	"
263°	490	"
330°	29	"

XELG - 680 KHz - 5 Kw - ADM
LEON, GTO.

DIAGRAMA DE RADIACION
MEDIDO.

$E_{RCM} = 433.573 \text{ mV/m}$

PLANEAS COORDENADAS
1500-210
1500-210

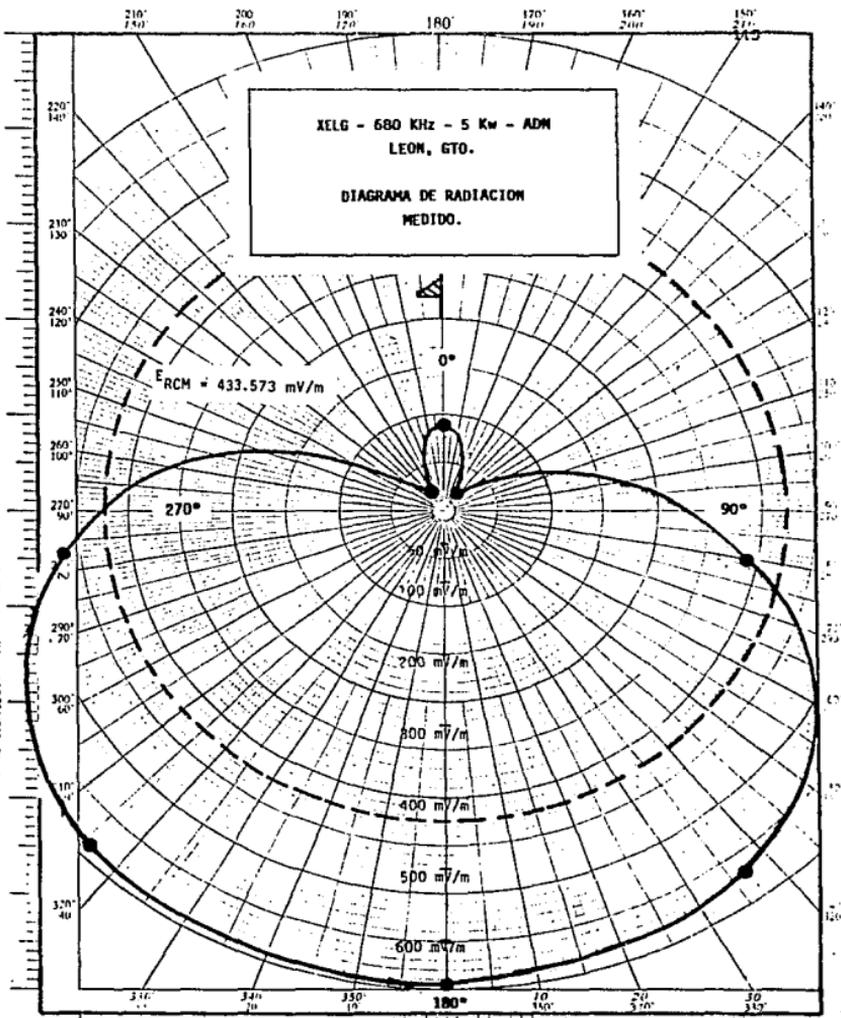


DIAGRAMA DE RADIACION MEDIDO
INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

ACIMUT	mV/m	ACIMUT	mV/m
0°	120	190°	660
10°	110	200°	657
20°	78	210°	655
30°	40	220°	655
40°	28	230°	639
50°	52	240°	610
60°	94	250°	566
70°	152	260°	510
80°	227	270°	436
90°	300	280°	353
100°	388	290°	248
110°	469	300°	135
120°	538	310°	57
130°	582	320°	30
140°	615	330°	30
150°	639	340°	68
160°	643	350°	109
179°	648		
180°	660		

CALCULO DEL CAMPO CARACTERISTICO

PARAMETROS DE OPERACION:

$$I_{T1} = 9.9 [A]$$

$$I_{T2} = 9.9 [A]$$

$$Z_{T1} = 39 + j30$$

$$Z_{T2} = 13 + j12$$

$$P_{T1} = 9.9^2 \times 39 = 3822.39 [W]$$

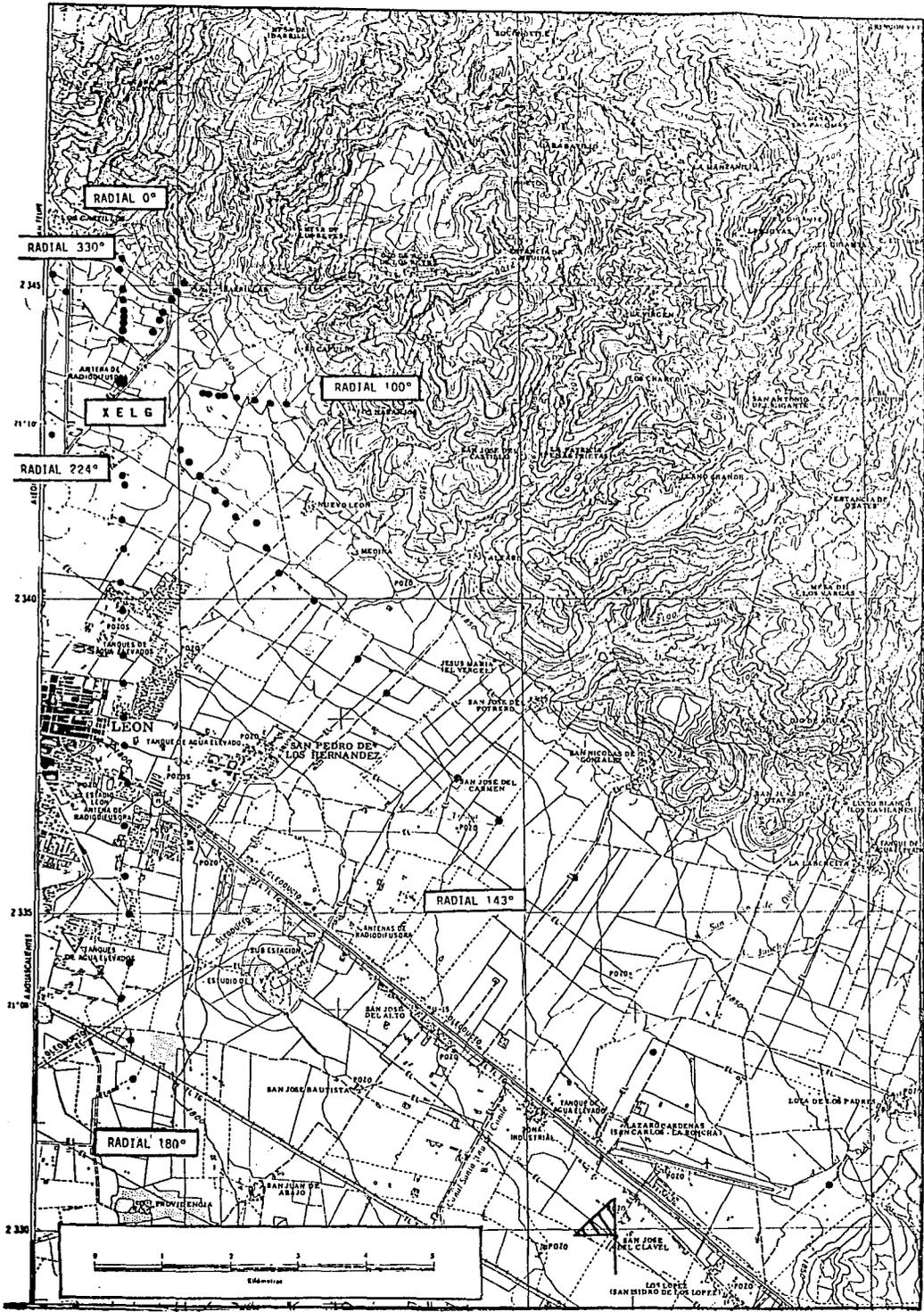
$$P_{T2} = 9.9^2 \times 13 = 1274.13 [W]$$

$$P_T = 3822.39 + 1274.13 = 5096.52 [W]$$

CAMPO CARACTERISTICO

$$E_{RCM} = \sqrt{\frac{\sum_{0^{\circ}}^{350^{\circ}} E^2}{36}}$$
$$E_{RCM} = \sqrt{\frac{6767477}{36}} = 433.573 [mV/m]$$
$$\eta = \frac{433.573}{\sqrt{5.096}} = 192.06 [mV/m]$$

NOTA: Las mediciones fueron realizadas con un medidor de intensidad de campo marca POTOMAC FIM-41.



3.3. MEDICIONES TENDIENTES A DETERMINAR RADIACIONES NO ESENCIALES.

Normalmente la SCT solicita la medición de las radiaciones no esenciales - anexo a la medición del campo característico de los sistemas radiadores.

La medición de radiaciones no esenciales tiene por objeto conocer si hay emisiones fuera del ancho de banda autorizado a una estación, en el capítulo II se citan las tolerancias de las radiaciones no esenciales de acuerdo a la separación en frecuencia de la portadora en la frecuencia asignada, asimismo la SCT no solicita cálculos al respecto; solamente la medición de estos parámetros.

Una radiación no esencial se produce generalmente por desacoplamiento entre la etapa final de RF del transmisor y los circuitos de acoplamiento a la antena, otra causa puede ser la incidencia de la radiación emitida por la antena sobre objetos metálicos oxidados, los cuales detectan la señal y la reradian en diferente frecuencia a la emitida originalmente.

La medición de las radiaciones no esenciales se puede realizar con un espectro analizador, con un receptor de radio profesional o con un medidor de intensidad de campo que cubra más allá de la banda de radiodifusión.

Existen medidores de intensidad de campo portátiles que cumplen estos requisitos, siendo uno de los más utilizados en el país el medidor marca Potomac modelo FIM-41, que cubre de 0.535 a 5 [MHz].

3.3.1. Procedimiento para determinar las radiaciones no esenciales.

Ségün la norma técnica la medición de una radiación no esencial debe hacerse en las cercanías del contorno de 1 [V/m] , por lo cual hay que localizar con el medidor cuando menos 4 lugares donde se encuentre dicho contorno, procurando de ser posible que sean lugares despejados, libres de obstrucciones (líneas eléctricas, edificios, estructuras metálicas y otros). En cada uno de los puntos se sintonizan las frecuencias armónicas de la frecuencia en cuestión anotandose los valores de intensidad de campo en cada uno de los casos. Posteriormente se hace un barrido de toda la gama de frecuencias a partir del ancho de banda de la estación hasta aproximadamente 5 [MHz] para determinar la presencia de radiaciones espurias.

Para facilitar el trabajo durante el proceso de medición puede utilizarse un receptor de uso común con la frecuencia de la estación sintonizada.

Las mediciones deben anotarse en un formato como el que se presenta enseguida, en donde la primera columna contiene el punto de medición, la segunda la hora del día y en las siguientes columnas la medición de la intensidad de campo de la frecuencia fundamental, segunda, tercera y cuarta armónica, radiaciones espurias, y finalmente una columna de observaciones en donde se describe el punto de medición y la presencia si es el caso de señales de otras estaciones.

XELG - 680 kHz - 5 Kw ADN

LEON, GTO.

Mediciones de radiaciones no esenciales

15/VI/91

PUNTO	HORA	680 mV/m	KHz	ARMONICAS (mV/m)			ESPURIAS	OBSERVACIONES	
				2ª	3ª	4ª			
A	16:10	970		.060	.033	NO	NO	Terreno despejado	
B	16:43	1000		0.063	.023	NO	NO	"	"
C	17:30	1000		0.065	.026	NO	NO	"	"
D	18:02	980		.063	.027	NO	NO	"	"

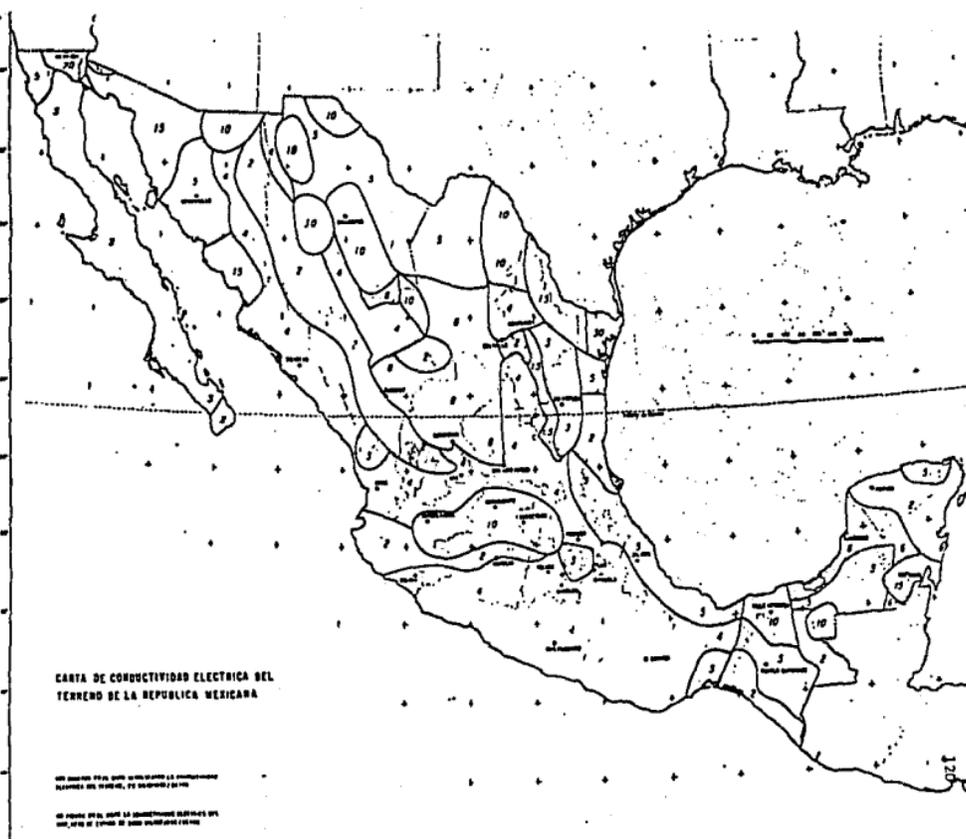
Durante las mediciones de radiaciones no esenciales se utilizo un medidor marca POTOMAC FIM-41.

3.4. CALCULO Y MEDICION DE LOS CONTORNOS PROTEGIDO E INTERFERENTE PARA DETERMINAR INTERFERENCIAS.

Al asignarse una nueva frecuencia para una estación, ya sea en cocanal --- (mismo canal) ó en primero o segundo canales adyacentes, en ocasiones los cálculos previos para determinar los contornos de protección no son lo precisos que debieran dado que se apoyan en los valores que contiene la "Carta de Conductividad Eléctrica de la República Mexicana", que en muchos casos no son exactos, ya que está compuesta de valores medidos y valores -- teóricos que son los que causan errores.

Cuando no se utiliza la conductividad eléctrica correcta en el cálculo, los contornos de dos o más estaciones pueden traslaparse creando una área de -- interferencia. La solución a este tipo de problemas puede ser la reducción de la potencia a una de las estaciones o determinar en base a mediciones de intensidad de campo eléctrico lo que se denomina el contorno reducido, en el cual la relación de protección se produce en donde se encuentran los valores de intensidad de campo correspondientes a las relaciones de protec--- ción establecidas en las normas técnicas.

En estos casos los valores de intensidad de campo del contorno reducido no corresponden a los descritos en las normas técnicas como contorno protegido e interferente.



**CARTA DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL
TERRENO DE LA REPUBLICA MEXICANA**

NO SEAN USADOS PARA OTRAS APLICACIONES SIN AUTORIZACION
EXPRESA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTADISTICAS

NO SEAN USADOS PARA OTRAS APLICACIONES SIN AUTORIZACION
EXPRESA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTADISTICAS

3.4.1. Cálculo de protección del contorno reducido.

Contorno reducido que se ha de proteger. Como ya se definió en el capítulo II, es la línea que une en todos los puntos dentro del contorno normalmente protegido, en donde la relación de la señal protegida con la señal interferente, procedente de una estación en el mismo canal, es de 20 a 1.

Determinación del contorno reducido. Para el servicio primario en operación diurna de las estaciones clase A, clase B y clase C, el contorno reducido se traza a través de todos los puntos en los que se satisfaga la relación de 20 a 1 entre la señal protegida y la interferente.

Para el servicio primario en operación nocturna de estaciones clase A y clase B, el contorno reducido se considerará como contorno cerrado de un valor uniforme que se circunscribe a la estación, valor que se puede determinar multiplicando por 20 el valor de la señal interferente más intensa de una estación existente en el mismo canal, calculado para el lugar donde está ubicada la estación protegida.

Protección del contorno reducido. En todo punto del contorno reducido o dentro de éste, la intensidad de cualquier señal nueva interferente a una estación en el mismo canal no podrá exceder del 70% del valor de la máxima señal interferente existente en ese punto, o de una vigésima del contorno normalmente protegido, cualquiera que sea el mayor.

Ejemplo: supóngase una estación clase A, cuyo contorno normalmente protegido en operación diurna es de 500 $[\mu\text{V}/\text{m}]$, la máxima señal interferente permisible será de 25 $[\mu\text{V}/\text{m}]$; pero si la estación involucrada ya recibe una se

ñal interferente de 100 [uV/m] ,una nueva estación en el mismo canal tendrá la opción de interferir con 25 [uV/m] o hasta el 70% de 100 [uV/m] .

En la norma técnica Mexicana unicamente se menciona la aplicación del contorno reducido a estaciones que operan en cocanal, no obstante el criterio de contorno reducido tienen algunas variantes y se aplica también al primero y segundo canal adyacente donde las relaciones de protección son de 1 a 1 y de 1 a 30 entre la señal interferida e interferente.

El ejemplo que se presenta en las páginas posteriores se refiere a dos estaciones que operan en primer canal adyacente, en el cual se buscan los puntos donde se cumple la relación de 1 a 1.

3.4.2. Procedimiento para la medición del contorno reducido.

Desarrollo de las mediciones.

Utilizando un medidor de intensidad de campo debidamente calibrado y autorizado por la SCT, se llevan a cabo mediciones a las dos estaciones consideradas, en la trayectoria que las une, iniciandolas aproximadamente a la mitad del trayecto del contorno de servicio calculado de cualquiera de las dos estaciones a intervalos aproximados de 2 [Km] pudiendo variar la distancia de acuerdo al criterio obtenido de las primeras mediciones, para esto se utilizarán mapas o aerofotos con escala no mayor a 1:50,000.

Para el caso de estaciones que operan en cocanal las mediciones se harán con una de ellas fuera del aire para después proseguir con la otra; en los casos de primero y segundo canal adyacente, en la mayoría de las veces es posible efectuar las mediciones sin hallarse fuera del aire las estaciones.

Cuando las lecturas del medidor de intensidad de campo se aproximan al valor de los contornos y de la solución buscada, se disminuyen los intervalos de la distancia entre los puntos de medición hasta encontrar los valores de seados.

Frecuentemente es difícil durante las mediciones encontrar los valores de los contornos y de la relación requerida, para estos casos deben elaborarse gráficas de atenuación de los contornos en papel milimétrico ubicando las estaciones en cada extremo, de tal manera que las curvas de atenuación queden opuestas una de otra; de esta gráfica se podrá obtener el valor de los contornos y del contorno reducido en forma directa.

Presentación de los resultados.

1. Tabla con el control de la potencia de las estaciones estudiadas.
2. Tabla con las mediciones a 1609 [m] de las estaciones tratadas.
3. Tablas con las mediciones de los contornos, indicando fecha, número de punto, hora del día, distancia a la estación, intensidad de campo medida — subrayando los valores de los contornos y finalmente una columna de las observaciones en el lugar de medición y lo que se considere pertinente.
4. Un plano con escala no mayor de 1:250,000 en donde se localicen los puntos de medición, el trazo de los contornos y la ubicación de las estaciones.

3.4.3. Estudio de aumento de potencia a la estación XEFR - 1080 KHz de la Cd. de México y de no interferencia a XEPK - 1090 KHz de Pachuca, Hgo.

La norma de la SCT en lo referente a estos servicios plantea una forma de cálculo de los contornos reducidos, la cual en su caso debe de comprobarse en la práctica; no obstante la propia Secretaría ha adoptado otras variantes

de este método, una de las cuales se describe en las siguientes líneas.

El estudio que se muestra a continuación fue elaborado para determinar el contorno reducido de las estaciones XEFR y XEPK las cuales operan en el primer canal adyacente, autorizándoles la Secretaría un incremento en su potencia de 1 [Kw] a 5 [Kw] para la XEFR y para la XEPK de 0.5 [Kw] a 1 [Kw]; posteriormente a estos incrementos la radiodifusora XEPK presentó una queja de interferencia ante la SCT, en virtud de que en el cálculo teórico resultó un traslape entre los dos contornos protegido e interferente, el cual según la estación de Pachuca provocaba serias interferencias dentro de su área de servicio.

Para la solución de esta controversia la SCT ordenó que se llevaran a cabo mediciones de intensidad de campo para tener una solución al mismo.

Previo a la realización de las mediciones se hicieron cálculos para determinar los contornos de 500 [uV/m] de las dos estaciones. El cálculo del contorno reducido se hizo con diferentes valores de contornos para las dos estaciones procurando que hubiera traslape entre los que tenían el mismo valor, el contorno reducido se trazó uniendo los puntos donde se intersectaron los contornos de igual valor.

Tomando como referencia los datos teóricos, las mediciones de intensidad de campo se iniciaron unos kilómetros antes de la población de Tizayuca sobre la autopista México - Pachuca, midiendo la señal de las dos estaciones; al acercarse a Tizayuca los intervalos de distancia entre los puntos de medición fueron a menor distancia debido a que las mediciones indicaban aproximación al contorno reducido, encontrándose finalmente a 11 [Km] de Tizayuca. Las mediciones se continuaron hasta encontrar el contorno de 500 [uV/m]

de la estación XEFR haciéndose a intervalos más largos localizándose a 9 -- [Km] de Pachuca; se hace notar que para tener la seguridad del lugar en donde de se encontró el contorno se hicieron mediciones más allá de este.

Al día siguiente y de acuerdo al criterio obtenido de los cálculos se midió el contorno de 500 [uV/m] de la estación de Pachuca en dirección a México, iniciándose las mediciones en Ecatepec para continuarlas por la avenida central en dirección al bosque de Aragón, encontrándose dicho contorno a 13 -- [Km] de XEFR.

El cálculo del contorno de 500 [uV/m] de la XEFR se presenta a continuación, en primer término se calculó la altura de la antena en fracciones de lambda.

altura de la antena: 109 [m]

logitud de los radiales: 94 [m]

Nº de radiales: 120

$$\lambda = \frac{V}{F} = \frac{300}{1.18} = 254.54 \text{ [m]} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} 1 \text{ --- } 254.54 \text{ [m]} \\ X \text{ --- } 109 \text{ [m]} \end{array}$$

$$X = 0.42 \lambda$$

Una vez efectuado este cálculo se procedió a determinar la longitud de los radiales del sistema de tierra en fracciones de longitud de onda.

$$\begin{array}{l} 1 \text{ --- } 254.54 \text{ [m]} \\ Y \text{ --- } 94 \text{ [m]} \end{array}$$

$$Y = 0.37 \lambda$$

De la gráfica de campos característicos de antenas verticales del Anexo I - de la norma, interpolando se obtiene el valor de:

$$r_l = 243.5 \text{ [mV/m]}$$

Enseguida se calculó la intensidad de campo a 1609 [m]

$$E = r_l \sqrt{P} = 243.5 \sqrt{5} = 544.48 \text{ [mV/m]}$$

y el valor de R_o

$$R_o = \frac{R}{E} = \frac{100 \times 500}{544.48} = 91.83 \text{ [uV/m]}$$

De la curva de intensidad de campo por onda de tierra para la frecuencia co rrespondiente y suponiendo una conductividad de 6 [mS/m], se obtuvo la dis tancia al contorno

$$D = 59 \text{ millas} = 94.93 \text{ [Km]}$$

El cálculo del contorno de 500 [uV/m] de la XEPK se calculó de la misma forma que para la XEFR; en primer término la altura de la antena en longitud de - onda:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300}{1.19} = 252.1 \text{ [m]}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{252.1 \text{ [m]}}{100 \text{ [m]}}$$

$$x = 0.4 \lambda$$

En segundo término se calculó la longitud de los radiales del sistema de -- tierra en fracciones de λ da.

$$\frac{1}{Y} = \frac{252.1 \text{ [m]}}{95 \text{ [m]}} \quad Y = 0.38 \lambda$$

En seguida con la curva del anexo I de la norma se obtuvo una intensidad de campo característica de:

$$\eta = 236 \text{ [mV/m]}$$

donde

$$E = \eta \sqrt{P} = 236 \sqrt{1} = 236 \text{ [mV/m]}$$

Finalmente se calculo el valor de R_o para posteriormente encontrar en la --- curva de intensidad de campo por onda de tierra suponiendo una conductivi-- dad de 6 [mS/m] la distancia al contorno tratado.

$$R_o = \frac{R}{E} \frac{E_o}{F} = \frac{100 \times 500}{236} = 212 \text{ [mV/m]}$$

$$D = 46.6 \text{ millas} = 75 \text{ [Km]}$$

Una vez trazado el contorno reducido medido, en el mapa; se localizó pasando la población de Tizayuca en la dirección México - Pachuca y se determinó -- que la radiodifusora XEFR puede operar con 5 [Kw] en su servicio diurno sin causar interferencia molesta a la estación XEPK en la parte de su área de - servicio que comprende Tizayuca.

La anterior conclusión también se fundamentó en las observaciones hechas en receptores de AM en el contorno reducido y la población citada.

RELACION DE INTENSIDAD DE CAMPO 1:1 DE LAS RADIODIFUSORAS
 XEFR - 1080 kHz - 5 Kw. DE LA CD. DE MEXICO Y XEPK - 1090 kHz - 1 Kw.
 DE PACHUCA, HGO.

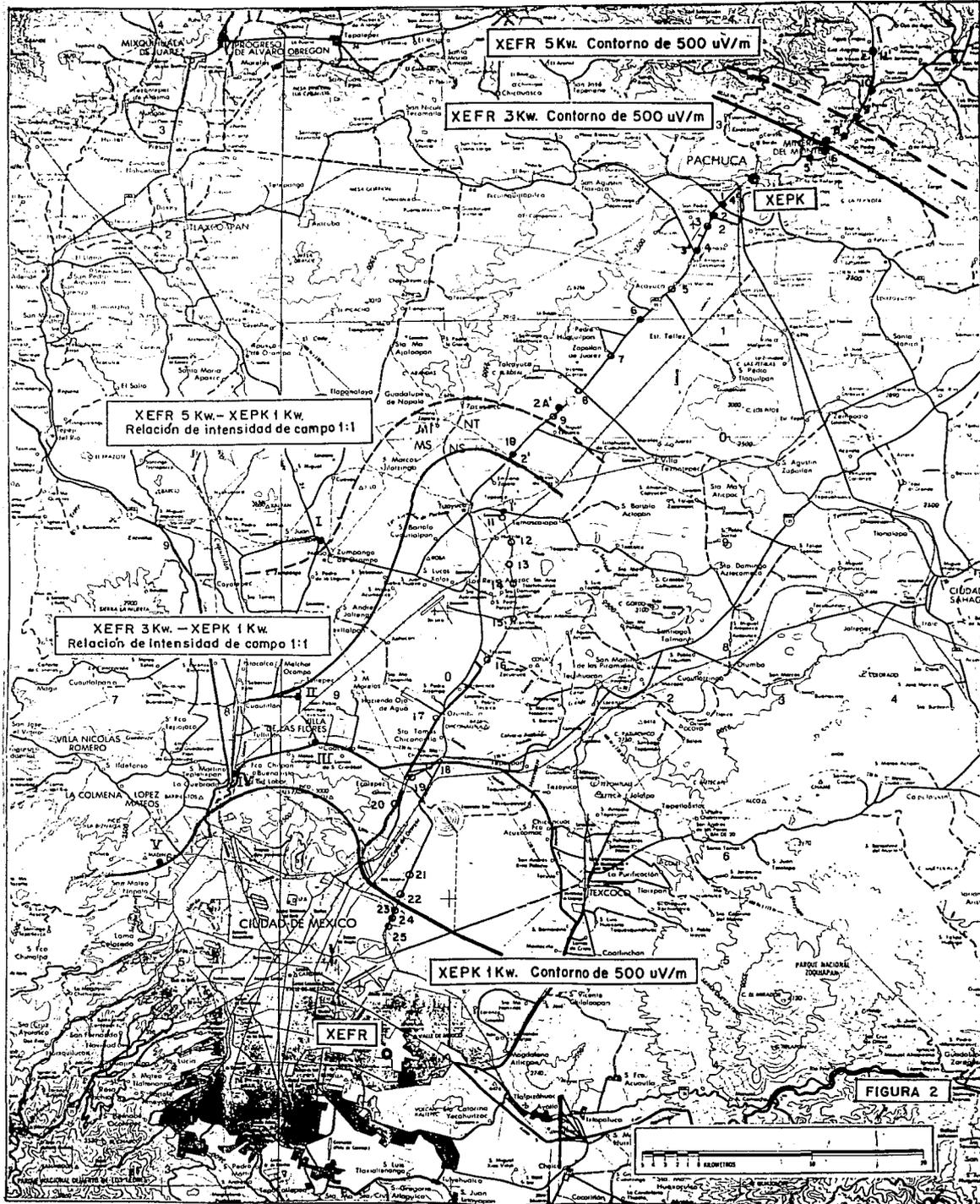
23/V/90

PUNTO	MILIVOLTS/METRO		OBSERVACIONES
	5 Kw. XEFR	1 Kw. XEPK	
I	11.0	2.70	XEFR no interferida XEPK interferida poco molesta
II	10.5	3.40	XEFR interferencia casi imperceptible no molesta XEPK interferencia poco molesta
III	9.5	3.85	XEFR no interferida XEPK interferencia variable de no molesta a poco molesta
IV	7.6	5.60	XEFR no interferida XEPK interferencia casi imperceptible no molesta
V	6.7	5.80	XEFR no interferida XEPK interferencia casi imperceptible no molesta
VI	7.0	6.80	XEFR interferencia casi imperceptible, no molesta
VII	5.4	7.60	XEFR interferencia casi imperceptible, no molesta XEPK no interferida
VIII	4.9	7.50	XEFR interferencia casi imperceptible, no molesta XEPK interferencia casi imperceptible, no molesta.

XEPR - 1180 kHz - 1 Kw.
 CONTORNOS DE 500 uV/m. O.T. CON 3 Y 5 Kw.

20 Y 25/V/90.

PUNTO	MILIVOLTS POR METRO		OBSERVACIONES
	5 Kw.	3 Kw.	
1	.94		Terreno despejado
2	7.50	5.40	Terreno desp., salida Tizayuca
2A	4.90		Terreno despejado
3	4.00		Terreno desp., desv. Actopan
4	4.20		Terreno desp., desv. Tampico
5	1.10	0.90	Terreno montañoso, entrada a Mineral del Monte
6	0.80	0.70	Terreno montañoso, salida de Mineral del Monte.
7		.415	Guerrero, montañas.
8		.32	Montañoso.
9	0.415	0.27	Omitlán, terreno despejado
10	0.35	0.26	Desv. a Huasca, terreno desp.
11	0.315		Terreno despejado



3.5. CALCULO Y MEDICION DE LA ONDA REFLEJADA.

El cálculo y la medición de la onda reflejada se utiliza generalmente para comprobar interferencias en horario nocturno de los contornos protegidos - de las estaciones moduladas en amplitud.

Como en los anteriores procedimientos, el cálculo teórico puede variar en forma apreciable del resultado de las mediciones efectuadas, prevaleciendo siempre el resultado de las últimas a los cálculos que sólo sirven para tener idea de el lugar en el que se puede situar el contorno tratado.

Para realizar un buen estudio sobre la transmisión por onda de cielo se tendrían que realizar mediciones semanalmente durante un periodo de 11 años; - pero esto no puede ser posible dado el costo y el tiempo que implica.

Se pueden obtener resultados aproximados a la realidad si se efectuan mediciones durante una semana en cada una de las estaciones del año. Esto es - con el objeto de realizar mediciones a diferentes grados de ionización de - la atmósfera y así poder tomar un valor promedio de intensidad de campo de la onda de cielo.

En el procedimiento de medición que se describe en esta parte se hace men-ción de la intensidad de campo durante el 10% del tiempo, que es la intensidad de campo que prevalece durante el 10% del tiempo de medición o registro.

Cuando se llevan a cabo mediciones o registros de onda de cielo, al ser a--nalizadas si el valor obtenido rebasa las relaciones de protección señalaa--das en la Norma Técnica se considera que existe interferencia objetable.

3.5.1. Ejemplo de cálculo de la intensidad de la señal de onda refle-
jada.

Supóngase que se desea calcular la intensidad de campo de la señal interfe-
rente producida por una estación X en el contorno reducido de una estación Y y que la distancia de la estación X al contorno reducido de la estación Y es de 643.6 [Km] (400 millas). Supóngase también que la estación X opera con 5 [Kw] y que utiliza una antena vertical omnidireccional de una lon--
gitud eléctrica de 68° eléctricos y un sistema de tierra constituido por -
90 radiales de 1/4 de longitud de onda.

De acuerdo con la curva del anexo I de la norma técnica de la SCT la --
cual se mostró en la parte 3.1.1., el campo característico de una antena -
vertical de esa altura es de 175 [mV/m], por lo cual la intensidad de campo
radiada en el plano horizontal a 1609 [m] es de 391 [mV/m] (de la fórmula
 $E = n \sqrt{P}$).

Según el anexo II de la norma técnica que se muestra a continuación, el án-
gulo de salida para una distancia de 643.6 [Km] (400 millas) es de 15° y, -
conforme al anexo III de la norma técnica también incluido, la caracterís--
tica de radiación en el plano vertical para dicho ángulo de salida es de --
96%, de manera que la intensidad de campo radiada de la estación X es:

$$\frac{96 \times 391}{100} = 375 \text{ [mV/m]}$$

La curva del 10% de tiempo del anexo IV muestra que, para una intensidad de
campo radiada de 100 [mV/m], la intensidad de campo de la señal a 643.6 [Km]
(400 millas) es de 163 [uV/m] .

Como la estación X realmente tiene una intensidad de campo radiada de 375 [mV/m], la intensidad de la señal interferente de la estación X en el contorno reducido de la estación B (E_{AB}) será el producto de 163 [uV/m] por la relación de 375 [mV/m] a 100 [mV/m] o sea, de la fórmula del anexo IV.

$$\frac{R}{R_O} = \frac{E}{E_O} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad E = \frac{RE_O}{R_O}$$

$$E_{AB} = \frac{163 \times 375}{100} = 611.25 \text{ [uV/m] , 10\% T.}$$

Supóngase ahora que la estación X utiliza una antena direccional cuya intensidad de campo radiada en dirección a la estación Y y a un ángulo de salida de 15° es de 128 [mV/m]. Entonces la intensidad de la señal interferente de la estación X en el contorno reducido de la estación B (E_{AB}) será el resultado de multiplicar por 163 [uV/m] la relación de 128 [mV/m], es decir:

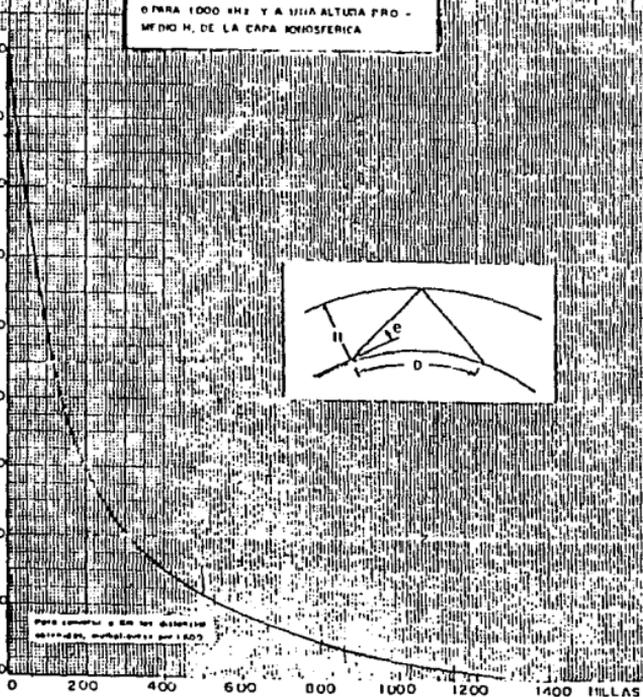
$$E_{AB} = 163 \times \frac{128}{100} = 208.5 \text{ [uV/m] , 10\% T.}$$

ANEXO B
ANGULO DE SALIDA

EN FUNCION DEL ALCANCE DE LA TRANSMISION

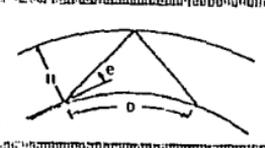
OPERA 1000 MHz Y A 1/311A ALTURA PROMEDIO M. DE LA CAPA IONOSFERICA

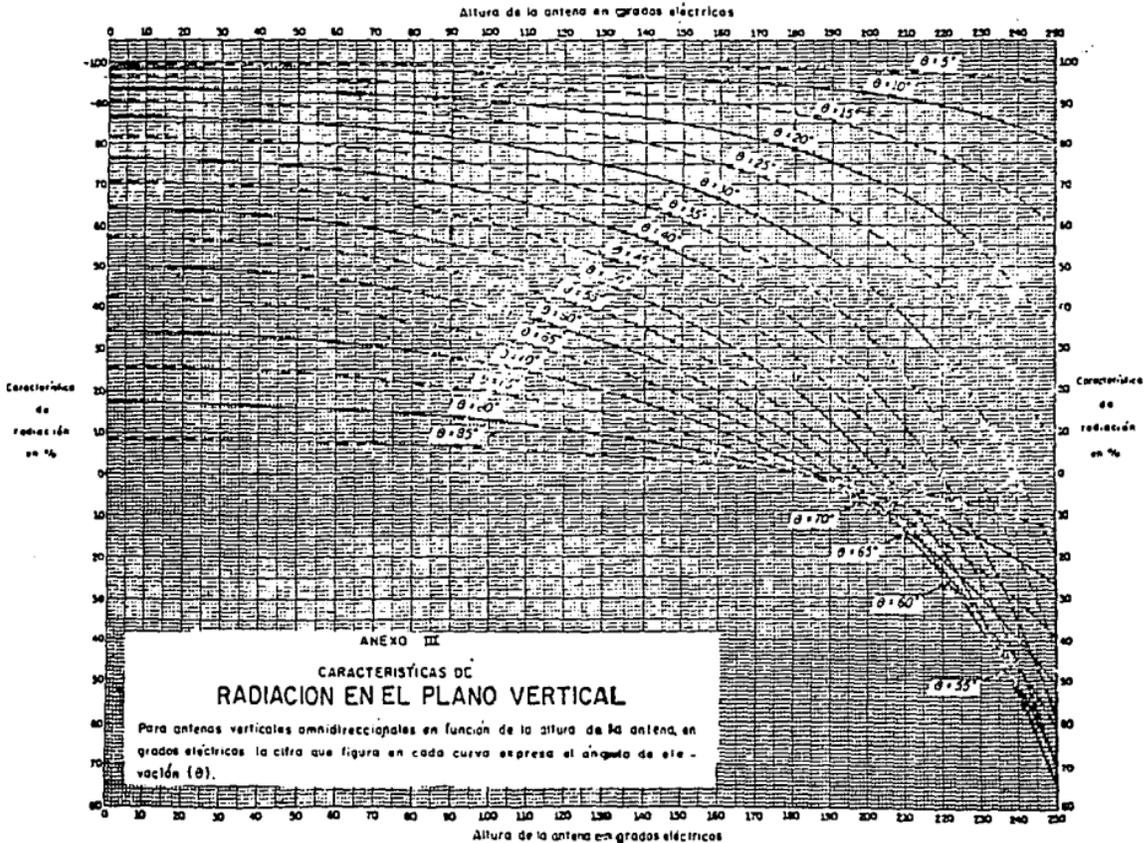
ANGULO DE SALIDA θ (GRADOS)



Para calcular θ en los alcances
 intermedios multiplicar por 1.000

ALCANCE DE LA TRANSMISION



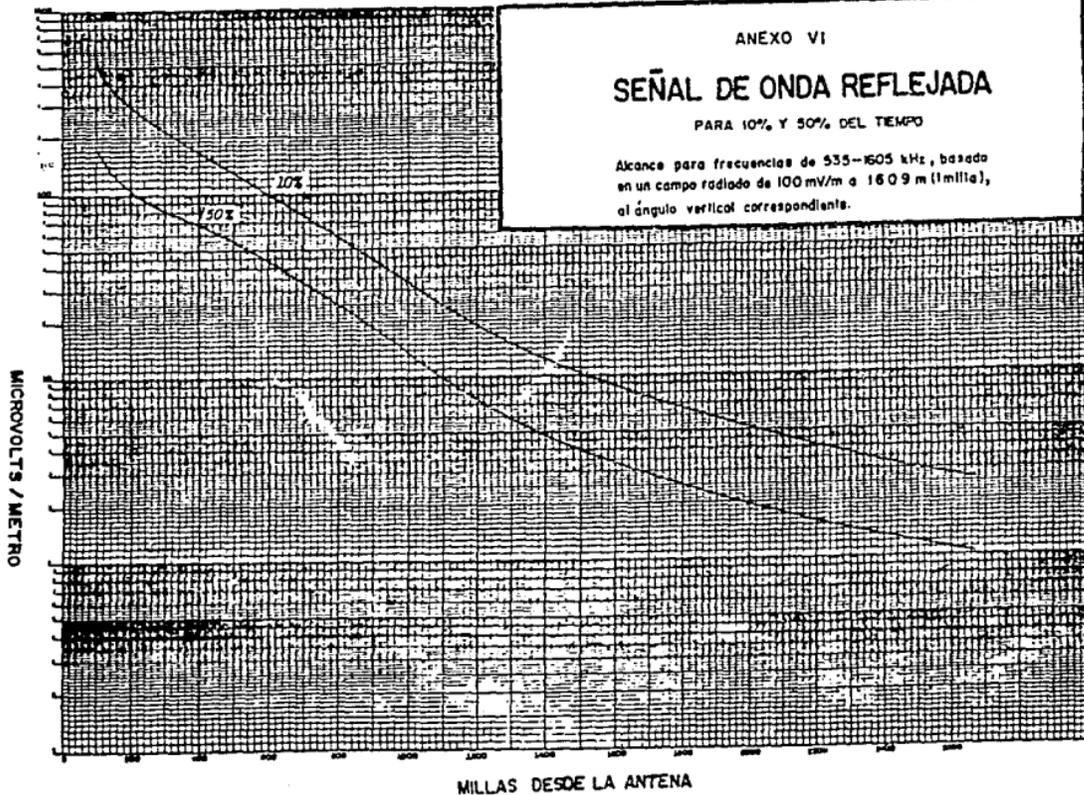


ANEXO VI

SEÑAL DE ONDA REFLEJADA

PARA 10% Y 50% DEL TIEMPO

Alcance para frecuencias de 535-1605 kHz, basado en un campo radiado de 100 mV/m a 1609 m (1 milla), al ángulo vertical correspondiente.



3.5.2. Procedimiento de medición de la onda reflejada.

En uno o varios puntos situados en el contorno de servicio medido o calculado de una estación radiodifusora ubicados en la trayectoria entre la estación interferente y la interferida, se instala en forma semifija un medidor de intensidad de campo para la banda de radiodifusión, de ser posible conectar al medidor un registrador gráfico.

Desarrollo de las mediciones.

Primeramente se calibra el medidor de intensidad de campo y el registrador gráfico si se cuenta con el, enseguida se sintoniza cuidadosamente la estación que se va a medir.

Las mediciones se deben iniciar 5 horas después de la puesta del sol. Cuando se utiliza únicamente el medidor de intensidad de campo se toman lecturas a intervalos de un minuto durante dos horas seguidas, si se utiliza un registrador gráfico la velocidad de registro será de un centímetro por minuto durante dos horas continuas. Este proceso se repetirá durante una semana por cada estación del año.

Cuando se trate de mediciones de intensidad de campo tomadas sólo del medidor, se grafican en papel milimétrico utilizando el eje de las ordenadas para la intensidad de campo y el eje de las abscisas para el tiempo a razón de un minuto por centímetro.

En cada registro ó tabla, cuando se utiliza únicamente el medidor de intensidad de campo, deben anotarse las observaciones pertinentes, por ejemplo

interferencia por otras estaciones o el cambio de escala de atenuación -- cuando se utiliza registrador.

Interpretación de los datos de campo.

En el análisis de los registros ó tablas se determinarán las intensidades de campo durante el 10% del tiempo, para llevarlo a cabo se puede hacer en forma manual deslizando una regla verticalmente colocada horizontalmente - en la gráfica, hasta encontrar la intensidad de campo que prevalece durante el 10% del tiempo.

Finalmente se determina el valor medio de todos los registros tomados, el - cual representa el valor de intensidad de campo durante el 10% del tiempo.

Si el valor obtenido es superior a los establecidos en la tabla de relaciones de protección, se considera que existe interferencia objetable.

3.5.3. Estudio de campo por onda reflejada realizado a la radiodifusora XECMQ - 1320 KHz - 1 Kw N., de la Cd. de México, para determinar el grado de interferencia a la estación XENM - 1320 KHz - 0.25 Kw N. de la Cd. - de Aguascalientes, Aqs.

A continuación se presenta un estudio de campo desarrollado en Aguascalientes con motivo de una solicitud de aumento de potencia a 5 [Kw] en operación nocturna de la estación XECMQ de la Cd. de México, la cual estaba operando con una potencia de 1 [Kw].

Cabe destacar que el ejemplo de medición que se cita no concuerda en lo que se refiere al tiempo de medición con el desarrollado en la sección 3.5.2., sin embargo al efectuarse este estudio en los meses en donde el grado de io

nización es más elevado, se obtuvieron valores de intensidad de campo mayores que en los demás meses del año, los cuales representan el mayor grado de interferencia durante este ; sin embargo de acuerdo a la experiencia aún siendo más bajos los valores de intensidad de campo en los otros meses del año, de todas maneras existirá interferencia objetable debido a que el valor de protección es solamente de 125 [uV/m].

En este caso las dos estaciones operan en cocanal y de acuerdo a la Norma Técnica la relación de protección debe ser de 20 a 1; siendo el contorno a proteger de 2500 [uV/m], y la máxima señal interferente debe ser de 125 [uV/m] como ya se mencionó.

Al desarrollar el cálculo de conformidad con el procedimiento descrito en el apartado 3.5.1. para determinar la intensidad de campo en el contorno protegido de XENM, se obtuvo un valor de 903.93 [uV/m] , el cual como se observa es superior al de la relación de protección de 125 [uV/m].

Dada la insistencia para comprobar en base a mediciones de intensidad de campo se desarrolló un programa el cual consistió primeramente en localizar mediante mediciones el contorno de 2500 [uV/m] de XENM, a continuación se instaló el medidor en dicho contorno, procediéndose a desarrollar las mediciones a partir de las cero horas hasta las dos horas a intervalos de un minuto durante tres días consecutivos.

Durante el trabajo de gabinete se dibujaron las gráficas de intensidad de campo contra tiempo correspondientes a los tres días de medición de las cuales sólo se anexa una por motivos de espacio; del análisis de las gráficas se encontró un valor promedio de intensidad de campo del 10% del tiempo durante los tres días de 923.33 [uV/m], comprobándose que el valor encontra-

do rebasa los límites de protección aprobados por la SCT.

A continuación se presentan los cálculos previamente desarrollados y el estudio de campo que comprueba lo anterior.

La distancia obtenida del mapa de la XECMQ al contorno de 2500 $\mu\text{V/m}$ de XENM es de 326 [Km] (202.6 millas).

La estación XECMQ opera con 5 [Kw] y tiene una antena vertical omnidireccional de una longitud eléctrica de 62.5° y un sistema de tierra constituido por 120 radiales de 62° de λ .

De acuerdo al anexo I de la Norma el campo característico es:

$$\eta = 164 \text{ [mV/m]}$$

Por lo que la intensidad de campo en el plano horizontal a 1609 [m] es:

$$E = \eta \sqrt{P} = 164 \sqrt{5} = 366.71 \text{ [mV/m]}$$

Según el Anexo II el ángulo de salida para la distancia de 326 [Km] (202.6 millas) es de 29° y conforme al anexo III, la característica de radiación en el plano vertical para dicho ángulo es del 85%.

De manera que la intensidad de campo radiada por XECMQ es:

$$\frac{85 \times 366.7}{100} = 311.7 \text{ [mV/m]}$$

La curva del 10% del Anexo VI muestra que para una intensidad de campo ra-

diada de 100 [mV/m] , la intensidad de campo de la señal a 326 [Km] (202.6 millas) es de 290 [uV/m].

Como XECMQ realmente tiene una intensidad de campo de 311.7 [mV/m], la intensidad de la señal interferente de XECMQ en el contorno de 2500 [uV/m] de XENM es:

$$E = \frac{290 \times 311.7}{100} = 903.93 \text{ [uV/m]}$$

XECMQ - 1320 KHz - 5 Kw

MEXICO, D.F.

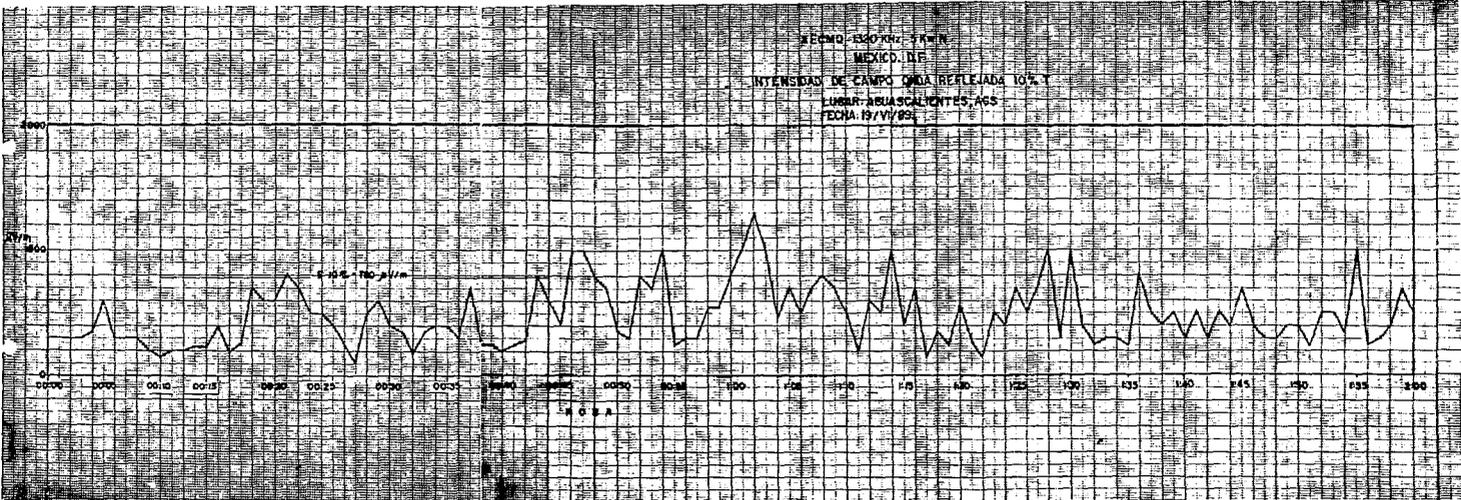
INTENSIDAD DE CAMPO ONDA IONOSFERICA 10%

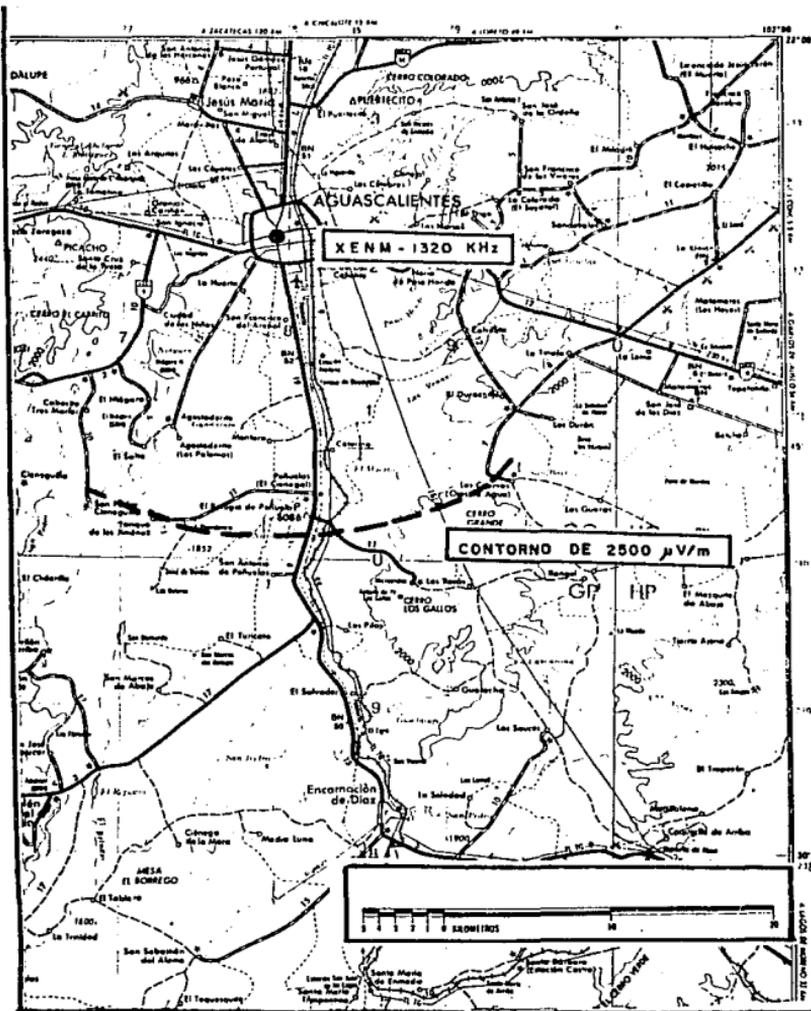
LUGAR: AGUASCALIENTES, AGS.

19/VI/89

HORA	uV/m	OBSERVACIONES
24:03	300	Interferencia de otras estaciones
04	350	" " "
05	600	" " "
06	300	" " "
07	300	" " "
08	300	" " "
09	200	" " "
10	150	" " "
11	200	" " "
12	200	" " "
13	230	" " "
14	220	" " "
15	400	" " "
16	180	" " "
17	250	" " "
18	700	" " "
19	600	" " "
20	600	" " "
21	800	" " "
22	700	" " "

WECMO-1330 MHz - 5 Km N
MEXICO, D.F.
INTENSIDAD DE CAMPO ONDA REFLEJADA 10%
UBERT ABUSCALIOTES, ACS
FECHA: 19/VI/62





COMENTARIOS FINALES

Los métodos descritos con anterioridad que no están contenidos en la Norma de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes son aceptados por la propia Secretaría en virtud de que la norma vigente no los contempla, no obstante fueron desarrollados de acuerdo a la experiencia, a la práctica y a los procedimientos utilizados en otros países.

Los métodos de medición de la propagación por onda de tierra han dado buenos resultados en la solución de problemas de interferencia entre estaciones. En lo referente al método de medición de la onda de cielo, no es tan aproximado como los de onda de tierra, debido a lo impredecible del grado de ionización y la altura de las capas de la ionósfera en un momento dado, sin embargo los resultados obtenidos en un estudio de propagación por este tipo de onda nos proporciona información satisfactoria para determinar el grado de una interferencia.

Finalmente cabe mencionar que en el área de las comunicaciones se están -- dando cambios vertiginosos como la aparición de estaciones que operan con amplitud modulada y sistema estereofónico de las cuales la medición de la propagación es igual a los procedimientos descritos, y la aparición de la radio digital que se prevé entre en funcionamiento comercial aproximadamente dentro de 10 años; por lo que es necesario que de acuerdo a la aparición de nuevos avances se actualicen las normas técnicas y los procedimientos de medición aquí desarrollados.

A N E X O

MEDIDORES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO.

Un medidor de intensidad de campo eléctrico es un aparato que sirve como - su nombre lo indica para llevar a cabo mediciones de intensidad de campo - eléctrico. En términos generales un medidor de estos es un radioreceptor - de muy alta calidad, el cual además contiene un oscilador calibrado cuya - señal se iguala con la que llega a través de la antena. El tipo de antena del medidor es de cuadro y está calibrada en laboratorio para que las lecturas obtenidas del medidor sean en unidades de voltaje por metro lineal.

Existen en el mercado medidores de intensidad de campo de diferentes tipos en lo que se refiere a las bandas en las que operan; los medidores que cubren diferentes bandas por lo general son voluminosos y con peso excesivo resultando imprácticos para la clase de estudios que se describen en esta tesis, además operan con voltaje alterno de 125 y 220 [v] , por lo que sería necesario instalarlo en una unidad móvil que contara con planta eléctrica. Otro de los inconvenientes es que se tendría que instalar la antena del medidor alejada del vehículo, para evitar los efectos de la estructura metálica.

Durante las mediciones que se llevan a cabo en el desarrollo de estos estudios, es necesario en ocasiones hacerlas en lugares en donde no existen vías de comunicación y no podría transitar ningún vehículo, por lo cual se utili

zan comunmente medidores portátiles que cumplen con los requisitos indispensables para llevar a cabo las mediciones.

El medidor de uso más común es el marca Potomac en sus versiones FIM-21 y FIM-41, sin embargo también existen otros modelos portátiles como el marca Anritsu modelo M - 262E.

A continuación se presentan las principales características técnicas de los medidores antes mencionados.

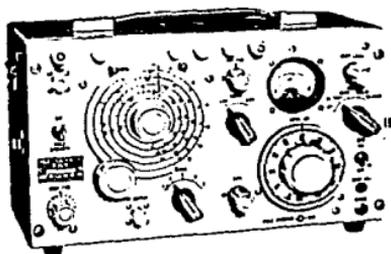
Medidores de intensidad de campo Potomac FIM-21 y FIM-41.



	FIM-21	FIM-41
Frecuencia	535 KHz a 1.605 MHz	535 KHz a 5 MHz
Banda para la medición de la intensidad de campo	10 uV/m a 10 V/m	10 uV/m a 10 mV/m
Error de medición	± 2 dB	± 2 dB

Ancho de banda	= 4 KHz (3 dB)	= 4 KHz (3 dB)
Antena	De cuadro integrada en el medidor	De cuadro integrada en el medidor
Indicador	Valor promedio	Valor promedio

Medidor de intensidad de campo Anritsu M-262E.



M-262E

Frecuencia	500 KHz a 30 MHz
Banda de medición	18 a 30 dB (0.5 a 2.9 MHz)
Error de medición	± 2 dB
Ancho de banda	= 4 KHz (3dB)
Antena	De cuadro
Indicador	Valor promedio

L I T E R A T U R A C I T A D A

- 1.- Carl E. Smith.
Antena Systems.
Smith Eletronics, Inc.
- 2.- Carl E. Smith.
Direccional Antenas.
Smith Electronics, Inc.
- 3.- Deparment of the Army Thechnical Manual.
Antenas and Radio Propagation.
- 4.- Edmund A. Laport.
Ingenieria de Antenas.
Editorial Hispano Americana.
- 5.- Edward W. Allen Jr.
Wave Propagation, Radiation and Absorption.
Federal Communication Commision.
- 6.- Federal Communication Commision.
Rules and Regulations.
- 7.- Frederick Emons Terman.
Ingenieria de Radio.
Editorial Continental.
- 8.- National Association of Broadcasters.
Enginnering Handbook.
- 9.- National Association of Broadcasters.
Mejora de la Cobertura de Radiodifusion de Onda Media, Mediante Antenas
Direccionales.
- 10.- National Bureau of Standars.
Ionosferic Radio Propagation.
- 11.- Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
Instructivo de Trámites en Materia de Radiodifusion.
- 12.- Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
Normas Técnicas para la Instalación y Operación de Estaciones de Radio-
difusion Sonora en la Banda de 535 a 1605 KHz con Portadora Principal
Modulada en Amplitud.

- 13.- Unión Internacional de Telecomunicaciones.
Propagación.
Volumen II.
- 14.- Unión Internacional de Telecomunicaciones.
Propagación en Medios no Ionizados.
- 15.- William Littell Everitt.
Ingeniería en Comunicaciones.
McGraw - Hill Book Company, Inc.