



66 2ej

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**TRANSMISION IONOSFERICA Y TERRESTRE DE
ONDAS ELECTROMAGNETICAS EN LA BANDA DE
ALTA FRECUENCIA DE 3 A 30 MHz.**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presentan

**EDUARDO GONZALEZ SARAVIA COSS
RODRIGO ARTURO HIPOLITO ORTIZ
CARLOS JIMENEZ VALENCIA
RUBEN ARTURO TAPIA SOTO**

MEXICO 1990.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

TEMARIO

INTRODUCCION.

CAPITULO I ANALISIS DEL MEDIO DE TRANSMISION.

I.1 REGIONES D, E Y F.

I.2 MODOS DE PROPAGACION.

I.3 PARAMETROS IONOSFERICOS.

I.4 PREDICCIONES IONOSFERICAS A CORTO Y LARGO PLAZOS.

I.5 CICLO DE ACTIVIDAD SOLAR.

CAPITULO II PROPAGACION.

II.1 ANALISIS DE ATENUACION, REFRACCION, REFLEXION Y DIFRACCION.

II.2 ANALISIS DE RUIDO EN LA IONOSFERA (GALACTICO, SOLAR, ETC.).

II.3 PARAMETROS DE PROPAGACION.

II.4 PERDIDAS POR DISTANCIA, ABSORCION Y REFLEXION IONOSFERICA.

II.5 ANTENAS.

CAPITULO III APLICACIONES A LA TELEFONIA RURAL.

III.1 REGIONES DE APLICACION EN MEXICO.

III.2 SERVICIOS QUE SE PUEDEN PROPORCIONAR POR ESTE MEDIO.

III.3 INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA ESTABLECER LA COMUNICACION.

III.4 INTERFACE CON LA RED TELEFONICA PUBLICA.

III.5 FACTIBILIDAD ECONOMICA.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

APENDICE.

GLOSARIO.

INTRODUCCION

De acuerdo con el Plan Nacional de Telefonía Rural de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y a pesar del impulso que ha brindado el Gobierno Federal a las Telecomunicaciones, las comunicaciones rurales, en particular la radio-telefonía, se encuentran en un estado incipiente de desarrollo, ya que sólo el 2% de las localidades rurales en todo el país disponen de este servicio. Esto se debe en parte a que la población de las zonas rurales está muy dispersa y sus actividades económicas son reducidas, limitándose básicamente a la producción primaria para autoconsumo.

Por otra parte, aún cuando expertos habían augurado hace algunos cuantos años, el fin de la radio-comunicación por onda corta (banda de 3 a 30 MHz) debido al gran auge de la comunicación por satélite, esto no ha sucedido. Por el contrario, merced al gran desarrollo de la electrónica y a la aplicación de técnicas de computación, la aplicación de sistemas basados en la onda corta ha excedido expectativas de crecimiento y ha abatido costos.

Las dos situaciones anteriores nos llevan a analizar la radio-comunicación por onda corta para determinar la factibilidad de la aplicación de tal tecnología a las comunicaciones telefónicas rurales.

Para tal efecto hemos dividido el presente trabajo en tres capítulos. En el primero se analiza el medio de transmisión primordial para la onda corta, es decir, la ionósfera. Se trata aquí el comportamiento solar y su

repercusión en el medio y en las comunicaciones en la banda de 3 a 30 MHz. En el segundo capítulo se trata la propagación de la onda corta. Además del tratamiento puramente matemático que se acostumbra dar a este tema, con el propósito de aportar un enfoque que facilite y agilice los cálculos necesarios para determinar los parámetros de la comunicación, hemos dado una metodología basada en la aplicación de nomogramas. En el tercer y último capítulo se analiza la situación actual de la telefonía rural en México, y se estudia la posible aplicación de la onda corta para brindar el servicio de telefonía a las poblaciones rurales. Además de la telefonía existen otros servicios relacionados que pueden ofrecerse para contribuir a la integración del medio rural al desarrollo nacional.

Es nuestra intención que con el presente trabajo podamos participar, aún cuando en muy pequeña medida, en la solución de un problema de actualidad. De igual manera pretendemos que esto nos haya servido para aplicar los conocimientos y la formación adquiridos durante nuestra estadía en la Facultad de Ingeniería.

CAPITULO I
ANALISIS DEL MEDIO
DE
TRANSMISION

El comportamiento del Sol da lugar a la formación de capas eléctricamente conductoras en la IONOSFERA. Dichas capas son el medio primordial para la propagación de la onda corta. En la primera parte de este capítulo se tratan las características de tales capas, conocidas como regiones D, E y F. En seguida se ven los modos de propagación (ionosférica y terrestre) de las ondas electromagnéticas en la banda de 3 a 30 MHz. En el tema de parámetros ionosféricos se analizan los parámetros que intervienen ya sea en la formación de la IONOSFERA o en la radiocomunicación. Dado el comportamiento cíclico del sol es posible hacer predicciones ionosféricas a corto y largo plazos para el desempeño de las comunicaciones. En la última parte de este capítulo se estudia al principal responsable de las comunicaciones en HF (altas frecuencias): El Sol. Se trata con mayor detalle su comportamiento regular y también algunas perturbaciones originadas por anomalías en su comportamiento y su repercusión en la IONOSFERA, por lo tanto en la comunicación por onda corta.

I.1 REGIONES D, E Y F.

I.1.1 ONDA DE TIERRA Y ONDA DE CIELO.

I.1.2 LOCALIZACION DE LA IONOSFERA.

I.1.3 IONIZACION.

I.1.4 ZONAS.

I.1.5 MECANISMO DE REFLEXION DE LAS ONDAS.

I.1.6 CAPA D.

I.1.7 ZONA E O CAPA DE HEAVYSIDE.

I.1.8 ZONA F O CAPA DE APPLETON

Las frecuencias en la banda de onda corta se propagan ya sea sobre la superficie de la Tierra (onda de tierra) o por medio de reflexiones en la IONOSFERA y en el suelo (onda de cielo). Cada uno de estos tipos de propagación tiene rangos específicos de frecuencias para cubrir distancias determinadas; con los que, cuando se emplea el equipo apropiado, es posible lograr una buena comunicación. Los medios para estos tipos de propagación se tratan en seguida.

I.1.1 ONDA DE TIERRA Y ONDA DE CIELO.

ONDA DE TIERRA.

Las frecuencias en la banda de 1.5 a 5 MHz se emplean para telecomunicaciones a través de la onda de tierra. Las distancias que se pueden cubrir con esta banda de frecuencias dependen en gran medida de las propiedades eléctricas del medio de transmisión en cuestión (suelo, agua, etc.). En la recepción de la onda de tierra se presentan disturbios tales como interferencias provenientes de frecuencias cercanas de otros transmisores y aquellas causadas por instalaciones de equipos y maquinaria o por la recepción simultánea de las ondas de tierra y cielo originadas por el mismo transmisor. La propagación por medio de la onda de tierra se trata en los capítulos I.2 y II.

ONDA DE CIELO.

Por lo general para enlaces de onda corta la onda de cielo es más importante que la onda de tierra. Esto se debe a que puede cubrir grandes distancias, aún sobre terrenos difíciles y además puede lograr enlaces en distancias cortas donde en ocasiones la onda de tierra no es muy efectiva. En el diseño de enlaces de onda corta por medio de la onda de cielo es necesario tener mucho cuidado en los cálculos para determinar los rangos de frecuencias a emplear ya que tales frecuencias son una función de parámetros altamente cambiantes; tales como: La actividad solar, la época del año y las horas del día. El medio para la propagación de la onda de cielo es la IONOSFERA, la cual se trata con mayor detalle a continuación.

I.1.2 LOCALIZACION DE LA IONOSFERA.

De las capas atmosféricas la IONOSFERA juega un papel de especial importancia para la propagación de ondas electromagnéticas.

Es posible considerar a la IONOSFERA como la parte de la atmósfera que contiene un número suficiente de electrones capaz de afectar las ondas electromagnéticas de radio. Se ubica a una altura aproximada, sobre la superficie terrestre, de 50 a 1800 Km. En la figura I.1.1 se indican las diversas capas de la atmósfera clasificadas de acuerdo con un criterio basado en la temperatura. Como resultado de la ionización, la

IONOSFERA está formada por capas eléctricamente conductoras.

Las especulaciones acerca de la existencia de una capa atmosférica eléctricamente conductora datan de mediados del siglo pasado, relacionadas con el fenómeno de la electricidad atmosférica. Cuando en los años veintes se estableció definitivamente la existencia de la IONOSFERA, el Sol visible no presentaba evidencia alguna de la naturaleza ionizante de su radiación. Tuvieron que pasar

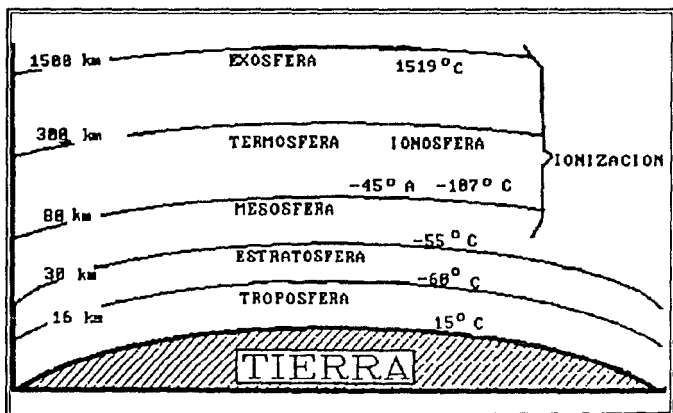


Figura I.1.1

25 años para que pudieran lanzarse sondas capaces de hacer mediciones en la alta atmósfera y dilucidar como el Sol produce y controla la IONOSFERA.

I.1.3 IONIZACION.

Cuando los fotones de las radiaciones solares ionizan el aire de la atmósfera aparecen electrones libres e iones cargados positivamente. Los electrones no permanecen libres por mucho tiempo ya que:

- Se vuelven a recombinar con los iones positivos para generar partículas neutras (recombinación).
- Se unen a partículas neutras para formar iones negativos (enlace).

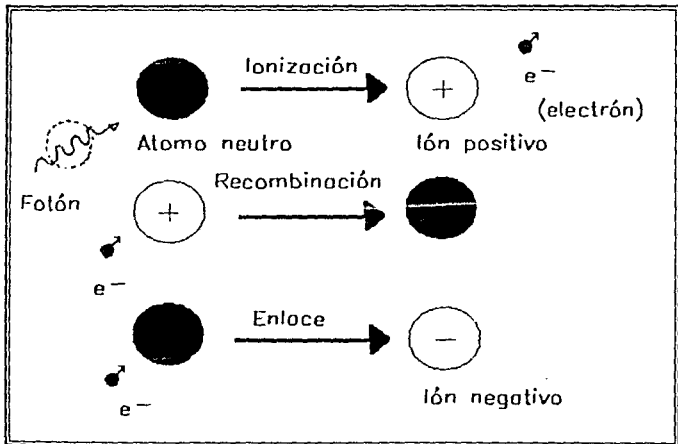


Figura I.1.2

Se hacen presentes entonces partículas cargadas eléctricamente con masas diferentes: Electrones con una masa pequeña y carga negativa y los iones; de masa mucho mayor y carga negativa o positiva. Ver figura I.1.2.

Las partículas cargadas producen su efecto en la trayectoria de una onda de radio en proporción inversa a la magnitud de su masa. Por este motivo, las cargas que producen el efecto de reflexión son los electrones. A una altura de 100 Km. la concentración aproximada de electrones es de 10 000 por centímetro cúbico.

I.1.4 ZONAS.

En 1901 Guillermo Marconi logró transmitir una señal telegráfica a través del océano Atlántico. Este hecho estimuló el pensamiento científico para tratar de explicar como las ondas habían podido atravesar el océano a pesar de que éstas viajan en línea recta y la curvatura de la Tierra representaba un obstáculo.

La explicación más factible fue postulada por Arthur Kenneley y Oliver Heavyside: Existe una capa conductora en la alta atmósfera que sirve de reflector de las ondas electromagnéticas.

Posteriormente y debido principalmente a la expansión de las transmisiones por radio en la década de los 20, Edward Appleton y Miles Barnett descubrieron que no existía una, sino tres capas reflectoras de ondas

electromagnéticas y que cada una de ellas actuaba como tal para distintas frecuencias. Las capas fueron denominadas D, E y F en orden creciente de altura.

La capa D se ubica entre los 50 y 90 Km. A la capa localizada a alturas entre 90 y 130 Km. se le llama Zona E. La Zona F se encuentra entre los 150 y 500 Km.

Durante el día la capa F se divide en zona F1, localizada entre los 150 y 250 Km, y zona F2 entre los 250 y 500 Km. Existe una Zona G que se ubica a unos 600 Km y la H entre 1100 y 1800 Km.

De estas zonas, debido a sus densidades de electrones, algunas son más importantes para la reflexión (o refracción propiamente) de las ondas de alta frecuencia

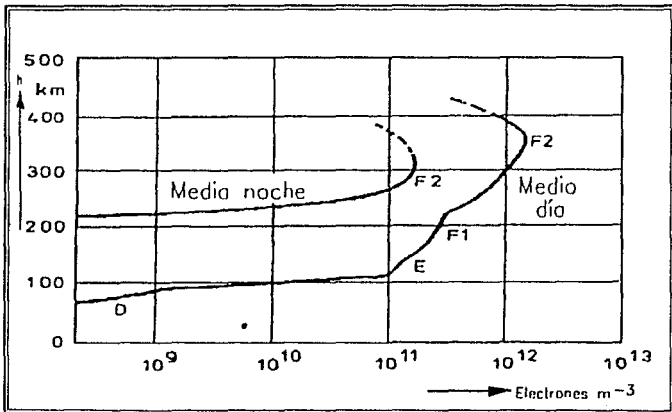


Figura I.1.3

(HF) de 3 a 30 MHz y están distribuidas entre los 50 y 500 Km de altura. Corresponden a las Zonas D, E y F. En la figura I.1.3 se muestra una distribución típica de densidades de electrones al mediodía y a la medianoche.

I.1.5 MECANISMO DE REFLEXION DE LAS ONDAS.

Cuando las ondas de radio llegan a la atmósfera producen oscilaciones adicionales en las partículas cargadas eléctricamente. A su vez, como consecuencia de las oscilaciones, éstas partículas emiten una serie de ondas secundarias que se transmiten radialmente en todas direcciones.

Las partículas atmosféricas están aleatoriamente distribuidas en el espacio. En algunos puntos la onda de radio se ve reforzada cuando las ondas secundarias, producto de las oscilaciones, están en la misma dirección que la onda principal. Mientras que en otras direcciones la combinación de la onda principal con las secundarias produce una onda débil.

La onda reforzada se transmite hacia adelante desde las partículas en oscilación, en la misma dirección que la onda original proveniente del transmisor. Ver figura I.1.4.

Aunque los caminos recorridos por las ondas secundarias emitidas desde las partículas en oscilación son

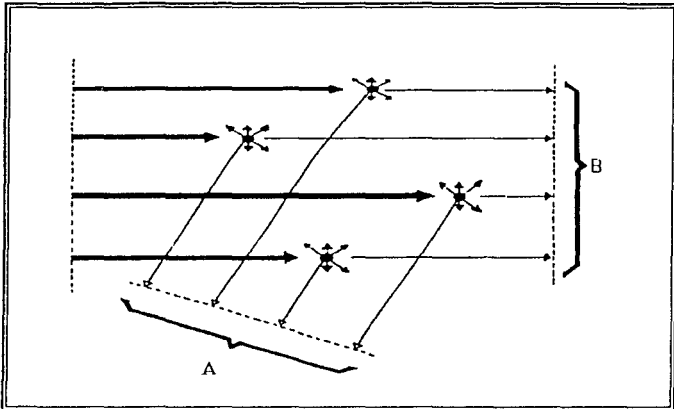


Figura I.1.4

iguales, su oscilación está adelantada respecto de la oscilación de la onda principal.

De esta manera parece que la onda combinada se ha desplazado más rápidamente. Si la concentración de electrones es mayor la fase de la onda combinada avanza más y parece desplazarse con mayor velocidad.

Esta velocidad depende tanto de la frecuencia de la onda como de la masa, carga y concentración de partículas cargadas en la atmósfera. El cambio de velocidad es mayor cuando las partículas cargadas son ligeras, y es más fácil que se generen oscilaciones que cuando las partículas son pesadas. Por lo tanto, resulta que los electrones ligeros son más efectivos para aumentar la velocidad que los iones más pesados.

Consideremos ahora que una onda incide oblicuamente en la atmósfera ionizada. A cierta altura la concentración de cargas libres y en consecuencia la velocidad de la onda aumenta. Las diferentes partes del frente de onda que se desplazan oblicuamente hacia arriba, desde el punto de emisión, se encontrarán en zonas cuya concentración de cargas es diferente. La mayor concentración de cargas localizadas en alturas superiores propiciará que el frente de onda aumente su velocidad

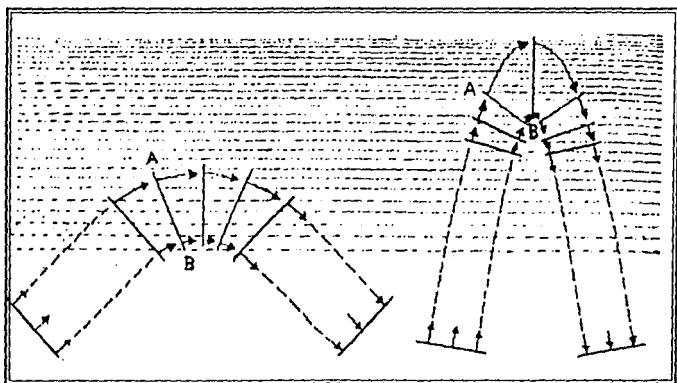


Figura I.1.5

más rápidamente que la parte anterior. De esta manera se produce un repliegue gradual de la onda sobre sí misma que formará la onda reflejada, la cual regresará hacia Tierra. Ver figura I.1.5.

I.1.6 CAPA D.

Esta región de la IONOSFERA se encuentra entre alturas de 50 a 90 kilómetros inmediatamente abajo de la zona E. La máxima densidad de electrones ocurre alrededor de los 80 km.

La capa D aparece después del amanecer y la máxima ionización se presenta cuando el Sol está en su posición más alta. Luego disminuye gradualmente, a medida que la recombinación se vuelve más intensa, y se neutraliza después de la puesta de Sol.

La concentración de iones en esta capa no es suficiente para reflejar la onda corta; sin embargo, ayuda a la transmisión de ondas de radio de longitudes mayores, hasta el rango de onda media para cubrir grandes distancias.

En esta capa se produce la mayor absorción de ondas electromagnéticas al ser relativamente frecuentes las colisiones entre electrones y partículas pesadas.

La densidad Electrónica es relativamente pequeña en esta capa. Como resultado de colisiones entre moléculas de la atmósfera y electrones libres acelerados por los campos de las ondas electromagnéticas, se producen pérdidas de energía en dichas ondas. A tales pérdidas de energía de las ondas a su paso por esta región, se les llama absorción.

La absorción se manifiesta como una disminución progresiva de la amplitud del campo eléctrico.

La magnitud de la absorción, expresada por el índice de absorción, que sufren las ondas en su trayectoria a través de la IONOSFERA depende entre otros factores del número de manchas solares y del ángulo cenital del Sol.

La absorción es mayor durante el día que durante la noche y el máximo se produce, aproximadamente, al medio día, ya que la ionización de la región se debe a radiaciones emitidas por el Sol y a otros factores atmosféricos.

La intensidad de las ondas reflejadas varía diariamente. Esta variación es especialmente notable en invierno en latitudes medias y altas. En algunos días de invierno la absorción es inesperadamente fuerte.

Debido a su poca densidad Electrónica la región D no refleja perfectamente las ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a 1 MHz, pero la absorción de energía en esta región es muy importante para todas las frecuencias

Investigaciones recientes, basadas en mediciones de densidades electrónicas empleando satélites, indican que es posible transmitir por onda corta en la banda de 2 a 5 MHz durante el día vía la capa D.

I.1.7 ZONA E O CAPA DE HEAVYSIDE.

Esta zona se sitúa entre los 90 y 130 Km de altura. La ionización en esta capa se debe principalmente a los rayos X provenientes del Sol. La ionización máxima tiene lugar a 110 Km. Para efectos de transmisión de ondas electromagnéticas esta zona se considera muy estable.

Al igual que en la capa D, la ionización empieza al amanecer y alcanza su máximo al mediodía y después de la puesta del Sol no tiene ningún efecto. La característica más importante aquí es su frecuencia crítica. La frecuencia crítica es la máxima que puede reflejar una capa cuando la onda electromagnética incide verticalmente en dicha capa.

Solamente en bajas altitudes de esta zona se presenta una irregularidad conocida como capa E esporádica. La capa E esporádica puede reflejar altas frecuencias, las cuales normalmente penetrarían la IONOSFERA sin reflejarse. Durante el verano este fenómeno provoca severas interferencias en transmisiones de televisión. La capa E esporádica es común alrededor del medio día durante el verano en latitudes medias.

Actualmente se dispone de mapas de contornos mundiales y de coeficientes numéricos, inclusive por computador, para calcular valores medios mensuales de la frecuencia crítica. Tales valores son una función de la latitud, longitud y tiempo universal coordinado (UTC).

I.1.8 ZONA F O CAPA DE APPLETON.

La zona F, alguna vez llamada zona de Appleton, es la capa más importante de la IONOSFERA para la propagación de las ondas electromagnéticas de onda corta.

Al igual que en las capas D y E de la IONOSFERA, la ionización se produce por la radiación solar; principalmente de rayos ultravioleta. Existe una estrecha relación entre la actividad solar y las características de esta zona.

Durante el día la zona F se divide en dos subcapas a las que se ha dado en llamar F1 (capa inferior) y F2 (capa superior). A cada una de estas dos capas corresponde una frecuencia crítica. Tales frecuencias críticas nos pueden proporcionar la medida de concentración de los electrones en sus respectivas alturas.

La capa F1 es en ocasiones importante para las comunicaciones durante las tormentas ionosféricas. Durante el día la F1 se ubica entre los 170 y 230 km de altura, F1 varía ordenadamente a lo largo del día, de la estación y del ciclo de actividad solar. Durante la noche la capa F1 desaparece o se fusiona con la F2. En las horas nocturnas, solamente la F2 esta disponible para la propagación de onda corta, aun cuando su densidad de electrones disminuya un orden de magnitud durante la noche. Ver figura I.1.6.

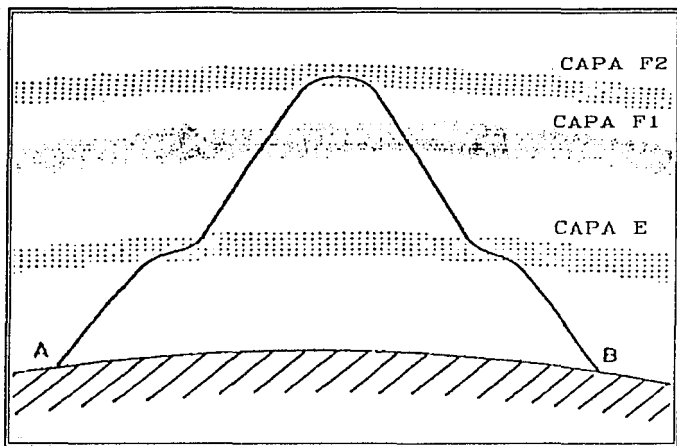


Figura I.1.6

La capa F2 varía con la localización geográfica, con las horas del día, con las estaciones y con el ciclo de actividad solar. F2 comienza a una altura de 250 km aproximadamente, y es la región principal de reflexión de ondas de 3 a 30 MHz.

I.2 MODOS DE PROPAGACION

I.2.1 Tipos de Onda

I.2.2 Propagación de la Onda Celeste

I.2.3 Propagación de la Onda de Superficie

I.2.4 Zona Muerta o de Silencio

I.2.5 Propagación

**I.2.6 Propagación en Frecuencias de 3 a 30 MHz
(HF)**

I.2.7 Bandas Tropicales

I.2.8 Bandas Internacionales

Entre los movimientos hay algunos que llaman la atención por su regularidad. Estos movimientos se conocen como oscilatorios u ondulatorios. Se habla de movimientos ondulatorios, para mencionar algunos casos, en la descripción del sonido, en la propagación de los temblores, en la emisión de las ondas de radio, y en el estudio de la luz. El estudio del movimiento ondulatorio ha dado por resultado el concepto de onda, el cual describiremos a continuación:

Cuando un transmisor introduce una señal de radio frecuencia en una antena se crea una carga eléctrica oscilante en la antena. Esta carga eléctrica oscilante produce una tensión eléctrica cambiante alrededor de la antena.

Esta tensión eléctrica cambiante produce una tensión magnética cambiante, la cual a su vez produce otra tensión eléctrica cambiante. Por consiguiente tenemos tensiones magnéticas y eléctricas cambiantes, que están siendo producidas más y más lejos de la antena. Entonces podemos decir que una onda electromagnética se propaga alejándose de la antena. El tipo de medio a través del cual está desplazándose la onda de radio controlará la velocidad de propagación de dicha onda. Pero tal velocidad nunca será mayor que la velocidad de la luz. Ver figura I.2.1

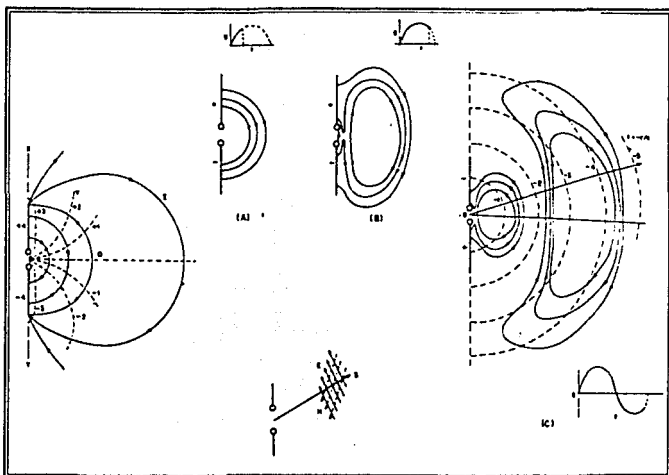


Figura I.2.1

I.2.1 Tipos de Ondas.

Las Ondas de radio son emitidas desde una antena en todas direcciones. No obstante, podemos clasificarlas en dos grupos generales: Ondas terrestres o superficiales y ondas celestes. La figura I.2.2 muestra un tipo teórico y simple de una antena. Todas aquellas ondas electromagnéticas que se propagan arriba de AB son ondas celestes y todas aquellas propagándose por debajo de la línea serán ondas terrestres o superficiales.

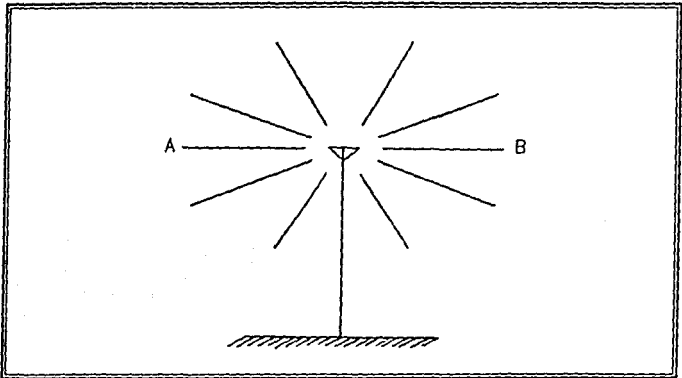


Figura 1.2.2

1.2.2 Propagación de la Onda Celeste.

Si no fuera por una serie de capas de gases ionizados llamada IONOSFERA, una onda celeste que abandonase una antena se propagaría hacia arriba y escaparía al espacio exterior. Estas capas ionosféricas producen un curvamiento y cambio en la dirección de propagación en una onda de radio de modo que finalmente ésta regresa a la Tierra. Desde el momento en que estas capas de gas están ionizadas, tienen una abundancia de electrones libres. Y es esta interacción entre los electrones y la energía de la onda de radio la que provoca el cambio en su dirección de propagación. Cuando una onda incide sobre una región en la que cambian las características del medio en que se propaga, siempre se produce reflexión.

La manera en que cambia la dirección de la trayectoria depende de la densidad de electrones libres en la capa. Mientras mayor sea la densidad más grande será el curvamamiento. Por consiguiente, si una onda electromagnética de una frecuencia determinada pasa por una capa ionosférica que tenga una densidad Electrónica lo suficientemente grande, la dirección de propagación cambiará tanto como para que la onda se propague de regreso a la Tierra. Pero si el número de electrones libres de la capa no es adecuado el efecto de curvamamiento no será lo necesariamente grande para provocar la reflexión de la onda de radio hacia la Tierra. También mientras más alta es la frecuencia, menor es el efecto curvatorio de los electrones sobre la onda. Es por esto que puede suceder que si la frecuencia de la onda de radio es demasiado elevada, la capa ionosférica no la reflejará, sino que le permitirá pasar a través de ella y escapará al espacio exterior. Concluyendo, mientras mayor es la densidad Electrónica en la capa, o mientras más ionizada esté la capa, frecuencias mayores serán reflejadas.

No obstante, siempre que una onda radioeléctrica pasa a través de una capa ionizada, una cierta cantidad de su energía es absorbida o, en otras palabras la onda de radio es atenuada. El concepto de atenuación de ondas electromagnéticas en el espacio libre se define como la disminución de la amplitud de la señal entre el transmisor y el receptor en una región sin obstrucciones y bajo condiciones de una atmósfera homogénea. Esta atenuación

de energía aumenta si decrece la frecuencia de la onda de radio. Es por ello que puede suceder que si la frecuencia decrece demasiado, toda la energía de la onda electromagnética será absorbida.

La consideración de los efectos de la reflexión y la atenuación son determinantes en los problemas de propagación de todo tipo de ondas.

1.2.3 Propagación de la Onda de Superficie.

En la gama de frecuencias por debajo de unos 5 MHz, el principal mecanismo de propagación es la onda de superficie. Este tipo de onda, como su nombre lo indica, viaja por la superficie terrestre. La onda de superficie se caracteriza por su estabilidad de propagación, siendo su atenuación proporcional a la distancia a la que se propaga, dependiendo de parámetros radioeléctricos y de la conductividad (σ) del suelo que atraviesa.

Las características del suelo que ejercen mayor influencia en la onda de superficie son el contenido de humedad, la temperatura y la naturaleza del suelo; de todas ellas, el contenido de humedad es quizá el principal factor que determina los parámetros eléctricos.

En el cálculo de ondas de tierra o de superficie, las condiciones meteorológicas así como las condiciones geográficas y eléctricas a lo largo de la trayectoria deben de conocerse con la mayor precisión posible.

La propagación por onda de superficie es independiente de la hora del día y de las estaciones del año, situación que no sucede cuando se transmite vía onda celeste.

I.2.4 Zona Muerta o de Silencio.

Las ondas se transmiten, en virtud de sucesivos procesos de reflexión entre la Tierra y la IONOSFERA. Según el ángulo con que inciden en la IONOSFERA, serán reflejadas o la atravesarán. El grado de reflexión será menor si las ondas inciden en sentido vertical, es decir formando un ángulo de noventa grados con respecto a la capa reflejante que si inciden en ésta con un ángulo menor. Por otra parte, el grado de reflexión depende también de la frecuencia.

Ondas de alta frecuencia son reflejadas en menor medida que ondas de frecuencia inferior. Así surge la llamada "Zona Muerta" o "Zona de Silencio". Tal zona existe en el área que ya no es cubierta por las ondas de superficie, a la que, en virtud del ángulo de incidencia, aún no llegan las ondas espaciales. Esta delimitada, por una parte, por el alcance de las ondas de superficie y por otra, por el punto en que llegan nuevamente a la Tierra las ondas reflejadas en la IONOSFERA. Ver Figura I.2.3

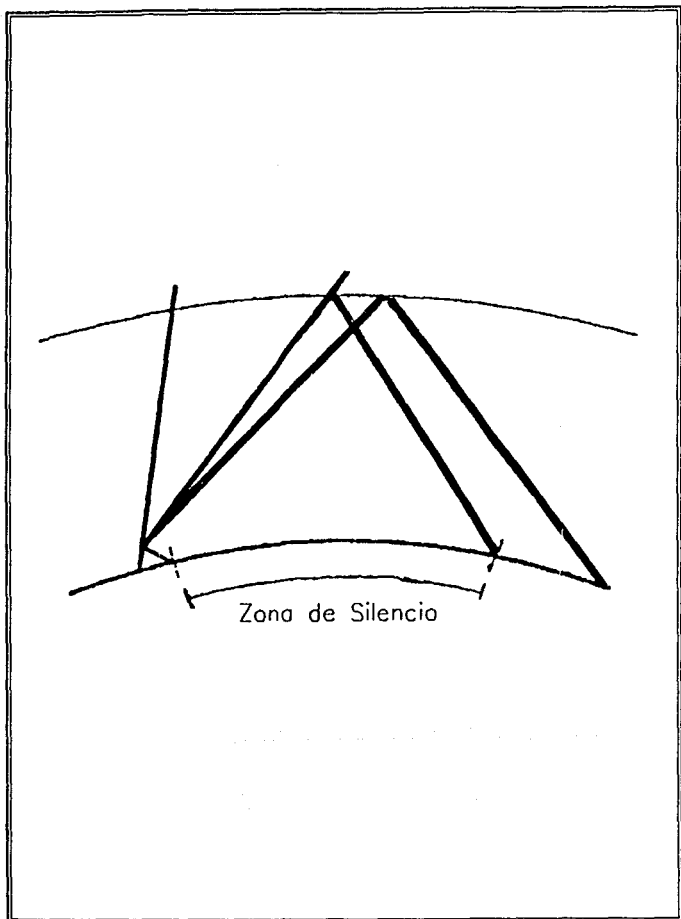


Figura I.2.3

A causa del fenómeno de dispersión, es posible a veces la recepción dentro de la zona muerta. Tales dispersiones se producen por condiciones extraordinarias que se dan en la IONOSFERA, o como consecuencia de irregularidades en la superficie terrestre.

I.2.5 Propagación.

La onda corta, presenta una característica valiosa desde el punto de vista de la transmisión, como veremos a continuación. Las señales radioeléctricas se propagan de dos formas distintas:

- a) A través de la onda terrestre o de superficie
 - b) A través de la onda ionosférica
- a) Onda de tierra o de superficie. Es la que se recibe fundamentalmente procedente de una estación transmisora en la onda media, se propaga directamente a lo largo de la Tierra y termina absorbida por la superficie del terreno. Como éste es un conductor relativamente malo, la onda se atenúa rápidamente. Esta onda se atenúa menos, cuando se propaga sobre la superficie del mar y la atenuación disminuye para una distancia dada a medida que disminuye la frecuencia. Cuando la frecuencia aumenta, por encima de 3 MHz el aumento de la atenuación con la distancia llega a ser tan

grande que la onda de superficie es de poca utilidad para establecer una comunicación, ver figura I.2.4

- b) Onda Ionosférica. Las capas ionizadas, tienen la propiedad de reflejar o refractar las ondas de radio en H.F. que inciden sobre ellas. Una onda electromagnética que se propaga después de haber sufrido una o más reflexiones en la IONOSFERA, se denomina onda ionosférica. Estas ondas permiten las comunicaciones de radio a larga distancia.

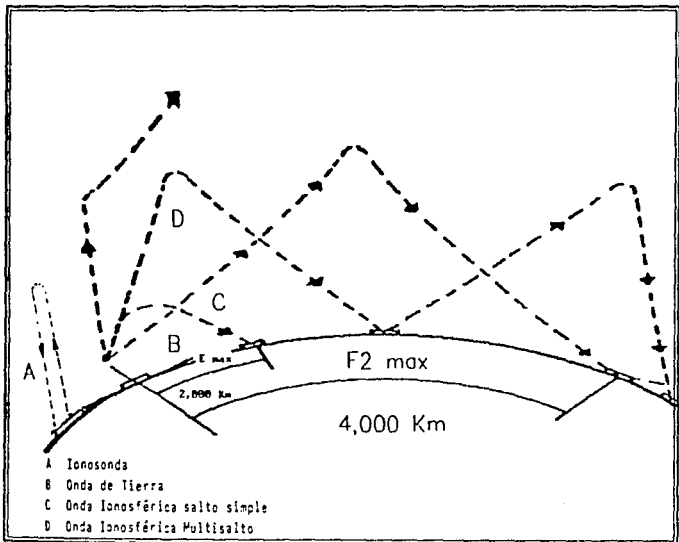


Figura I.2.4

Una señal radioeléctrica puede alcanzar su destino mediante uno o más de los mecanismos descritos, pero en cualquier caso y en función principalmente de la banda de frecuencias utilizada, predominará uno de ellos. Por regla general, la onda de superficie constituirá la forma de propagación predominante en las frecuencias inferiores a 3 MHz, mientras que la onda ionosférica constituirá el principal MECANISMO de propagación en la banda comprendida entre 3 y 30 MHz. En frecuencias superiores a 30 MHz, la propagación se efectuará a través del espacio libre.

El principio de la transmisión en el espacio libre ha sido utilizado mucho tiempo como modelo teórico básico en el que pueden introducirse correcciones para tener en cuenta otros factores.

La teoría electromagnética nos enseña que una onda que viaja en un medio dieléctrico (esto es, no conductor), homogéneo e isotrópico, se propaga en forma semejante a cuando lo hace en el vacío, excepto en que modifica su velocidad.

Los radio transmisores de onda larga, media y corta emiten ondas electromagnéticas de superficie y ondas de cielo. Normalmente, los receptores de onda media y larga captan la onda de superficie que en virtud de su longitud de onda (λ) relativamente grande se extiende a lo largo de la superficie terrestre, pero a distancias limitadas. La componente ionosférica solo se capta por la noche para la

emisión de onda media. Para las emisiones de onda corta, las ondas de superficie carecen de importancia ya que según su frecuencia, sólo tienen un alcance de 40 a 60Km.

Las ondas de frecuencia modulada (76 a 108 MHz) son de longitud menor aún que la corta, y se propagan en línea recta, siguiendo apenas la curvatura terrestre. Esto significa que las emisiones pueden ser captadas de manera satisfactoria solamente en el caso de que no haya obstáculos entre la antena transmisora y la receptora. Las microondas (frecuencias arriba de 1 GHz) se pierden en el espacio, en línea recta, en caso de que no encuentren en su trayectoria cuerpos sólidos; tales como satélites artificiales, la luna u otros, que den lugar a una reflexión hacia la Tierra. Esto se debe a que las ondas muy cortas no son reflejadas por la IONOSFERA.

Todas las ondas radioeléctricas están afectadas por el desvanecimiento, la absorción, la reflexión, la refracción y la dispersión, pero en este caso, tanto la naturaleza como el grado del efecto dependen de la banda de frecuencias considerada.

I.2.6 Propagación en Frecuencias de 3 a 30 MHz (HF).

La propagación en las bandas de frecuencia comprendidas entre 3 y 30 MHz se efectúa principalmente a través de la onda ionosférica. La IONOSFERA como se vio en el tema I.1.1 es la parte de la atmósfera terrestre

que rodea la Tierra, a una altura comprendida entre 50 y 500 Km por encima de la superficie. En general las ondas celestes, son menos estables que las ondas terrestres o superficiales. La intensidad de las ondas ionosféricas dependen de la frecuencia y de la condición de la IONOSFERA. Se ha encontrado que la IONOSFERA tiene variaciones regulares en períodos cortos (1 hora, 1 día) también, en períodos más largos como pueden ser los ciclos de las estaciones del año y los ciclos solares, presentando una variación parecida a la que presenta el clima, por lo que se pueden hacer predicciones de su comportamiento con anticipación.

La propagación en la banda de HF normalmente se divide en bandas tropicales y bandas internacionales.

I.2.7 Bandas Tropicales.

Las bandas tropicales son aquellas longitudes de onda que están comprendidas entre los 50 y 150 metros, que están asignadas a las transmisiones en las zonas tropicales del mundo. Podemos considerar como el cinturón tropical por lo menos en lo que se refiere a radiocomunicación a la región comprendida entre los 20° de latitud Norte y Sur.

El alcance de las estaciones de la banda tropical varía según la época del año. Durante el día, estas emisoras pueden radiar cerca de 80 a 100 Kms. del lugar donde se encuentra el transmisor, pero este alcance se

incrementa enormemente durante la noche, cuando prevalece la propagación de las ondas ionosféricas.

I.2.8 Bandas Internacionales.

Estas caen entre los 5.0 y los 26.0 MHz. Todas las señales radiadas que cubren la misma área geográfica, están sujetas a los mismas condiciones de transmisión y recepción. Por lo tanto, las frecuencias de trabajo son similares dando lugar a la saturación en estas bandas. Por lo que es necesario un uso más racional de las frecuencias.

En estas bandas, las ondas que se propagan sobre la superficie terrestre son muy reducidas, ya que éstas son absorbidas después de haber recorrido unas cuantas decenas de Kilómetros desde la estación transmisora.

Las ondas ionosféricas son en este caso más importantes pues pueden ser reflejadas por las capas D, E y F de la IONOSFERA, lo cual hace mucho mayor el alcance. La cobertura en éstas bandas con la ayuda de una reflexión es de 3000 Kilómetros aproximadamente.

Distancias de más de 4000 Km. no pueden ser cubiertas con una transmisión de "Salto Simple" y aquí aparece la transmisión de "Multi Salto". La señal rebota entre la Tierra y la IONOSFERA y su alcance no está limitado únicamente por la absorción y difusión a que está sometida cuando es reflejada contra la Tierra y conforme

penetra en las porciones inferiores de la IONOSFERA. La Tierra parece ser un excelente reflector para las altas frecuencias y el Mar los es aún más. Ver figura I.2.4.

Una característica del comportamiento de la propagación de la onda corta es que a medida que se incrementa su frecuencia, su transmisión tiende a ser mediante la onda celeste. El alcance de la onda de superficie se va reduciendo conforme aumenta la frecuencia.

I.3 PARAMETROS IONOSFERICOS

- I.3.1 MANCHAS SOLARES**
- I.3.2 DENSIDAD Y PRESION ATMOSFERICA**
- I.3.3 IONOGRAMAS**
- I.3.4 TASA DE PRODUCCION DE ELECTRONES**
- I.3.5 DENSIDAD DE ELECTRONES**
- I.3.6 CAMPO MAGNETICO**
- I.3.7 TEMPERATURA**
- I.3.8 VARIACIONES IRREGULARES DE LA IONOSFERA**

El conocimiento de las características de la IONOSFERA se basa en gran parte en sus efectos sobre las ondas radioeléctricas.

En un enlace de onda corta empleando la onda de cielo es de importancia primordial la frecuencia de operación (ver capítulo I.4). Tal frecuencia de operación no es un parámetro que se mantiene fijo durante todo el tiempo que se lleva a cabo el enlace. Esto se debe principalmente al comportamiento propio de la IONOSFERA, donde tienen lugar cambios en la concentración de electrones a determinadas alturas en las zonas D, E y F.

Dichos cambios combinados con otras variaciones de parámetros tales como la temperatura, la densidad atmosférica, campo magnético, etc. se relacionan para dar lugar al comportamiento sui generis de la IONOSFERA que afecta las transmisiones de radio en la banda de HF al propiciar alteraciones en las condiciones de operación.

La radiación del Sol es la principal responsable de la intensidad de ionización de las capas atmosféricas. A medida que la radiación solar se hace más fuerte también se incrementa la capacidad de las capas individuales para reflejar ondas de alta frecuencia (onda corta) de regreso a la Tierra.

I.3.1 MANCHAS SOLARES.

Las manchas solares tienen un gran efecto en la intensidad de ionización en la atmósfera superior y por lo tanto en la trayectoria de propagación.

La medida del número de manchas solares es el parámetro R , el cual se puede calcular tomando en cuenta el valor máximo y el mínimo de las manchas solares en un período de 11 años.

Observaciones han demostrado que los valores mínimos anuales para R_{12} (valor promedio de R en doce meses), pueden caer en un rango de 0 a 10 y los valores máximos en el rango de 50 a 150. La consecuencia de esto es que la atenuación de las ondas electromagnéticas en la capa D aumenta con el número de manchas solares y las capas E y F pueden reflejar frecuencias de onda corta mayores.

La figura I.3.1, muestra la variación de la frecuencia crítica con el número de manchas solares R_{12} .

Cuando el número de manchas solares es pequeño, la ionización de las capas no es muy fuerte, la ionización es entonces descrita como calmada; las frecuencias altas no son reflejadas porque atraviesan las capas y la radiocomunicación es posible solamente a frecuencias relativamente bajas.

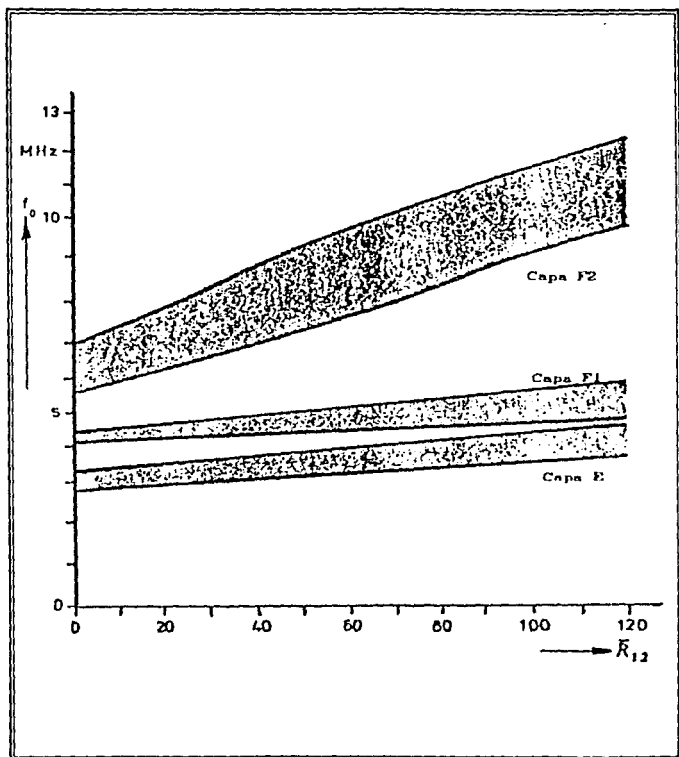


Figura I.3.1

El riesgo de interferencias se eleva y el efecto del ruido atmosférico se intensifica, porque el campo de fuerza aumenta cuando la frecuencia decae.

Cuando el número de manchas solares aumenta, la ionización de las capas D,E y F, se hace más fuerte, entonces se pueden usar frecuencias más altas, siendo menos expuestas a la interferencia atmosférica.

I.3.2 DENSIDAD Y PRESION ATMOSFERICAS.

La capa de aire que envuelve a la Tierra se extiende a grandes alturas, donde su densidad y presión decrecen en tanto la temperatura sufre cambios considerables.

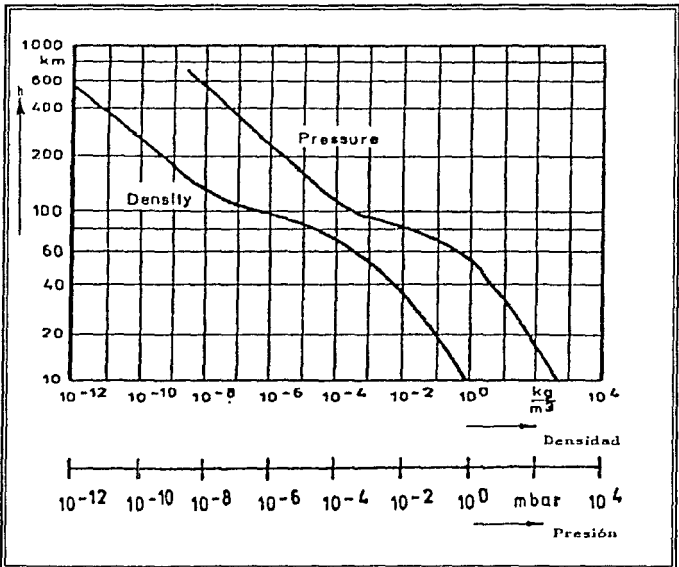


Figura I.3.2

La figura I.3.2, muestra la distribución de presión y densidad como una función de la altura (de acuerdo con una atmósfera modelo, la cual se toma como el estado promedio de esta). La presión del gas se puede hacer variar suministrándole energía o moléculas, esta energía que se le suministra es del Sol principalmente.

La temperatura varía con la altura, si partimos de una temperatura de 288 K (15° C), en la superficie de la Tierra, la temperatura cae a 166 K (-107° C) a una altura de 90 Km y gradualmente sube otra vez, a una altura de 700 Km, la temperatura es de 1800K (1519° C).

La variación de la temperatura y todos sus parámetros dependientes están sujetos a fluctuaciones sustanciales debido a los cambios diurnos en la intensidad de radiación solar. La composición química de la atmósfera superior cambia también a mayor altura.

I.3.3 IONOGRAMAS

El ionograma es un esquema fotográfico que nos permite deducir frecuencias críticas o de penetración de las zonas ionosféricas así como sus correspondientes alturas.

El dispositivo empleado generalmente para obtener los ionogramas se llama ionosonda, aunque también es posible emplear otras técnicas para su obtención; tales como la del resonador superior (que en esencia es una

ionosonda desde un satélite) y la del resonador escalonado de Thomson.

En la figura I.3.3, se muestra la manera de obtener un ionograma empleando una ionosonda.

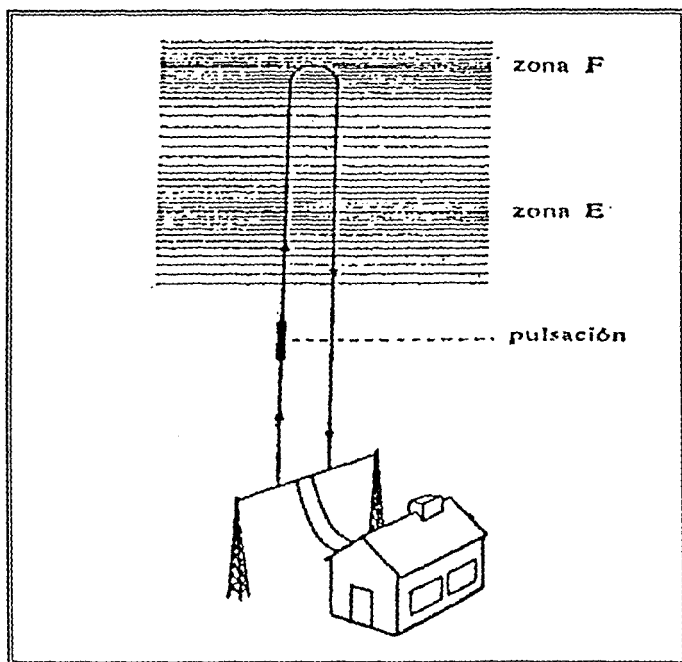


Figura I.3.3

En esencia consiste en transmitir verticalmente hacia arriba una pequeña pulsación de ondas de radio. Después que se presenta la reflexión en la IONOSFERA se reciben en el mismo lugar desde donde se transmitieron.

Se cambia regularmente la frecuencia de la onda de radio durante unos minutos y se recoge fotográficamente, en un ionograma, el tiempo empleado por la pulsación en su recorrido. La escala horizontal de un ionograma indica la frecuencia de radio de la pulsación emitida, la escala vertical señala la altura efectiva a la que debería estar la zona reflectora para poder reflejar la pulsación en el tiempo que, según las observaciones, ha consumido la pulsación.

A partir de los ionogramas es posible conocer la frecuencia crítica de cada zona.

I.3.4 TASA DE PRODUCCION DE ELECTRONES.

La concentración de electrones a diferentes alturas es otro parámetro que se relaciona con las frecuencias críticas. Cuando se comenzó a investigar la IONOSFERA se concedió mayor atención a la frecuencia crítica que a la configuración del ionograma. Sin embargo, la configuración del ionograma puede relacionar la distribución de electrones con diferentes alturas en la IONOSFERA.

Para esto es necesario explicar la manera en que se producen los electrones a distintas alturas. Para hacer la explicación más sencilla se suponen dos hipótesis:

Primero se asume que la concentración de cualquier gas que va a ser ionizado disminuye exponencialmente con la altura.

La segunda hipótesis es que la radiación solar cae sobre la atmósfera desde arriba de manera que se forman electrones e iones positivos. Se supone que los electrones quedan libres por un tiempo, después de haberse formado, para recombinarse finalmente con los iones positivos y formar átomos neutros o moléculas. De esta manera es fácil explicar el proceso de formación de una capa de electrones:

En la parte superior de la atmósfera no es posible que se produzcan electrones libres ya que no existe gas ionizable. Al penetrar la radiación solar hacia la Tierra se encuentra cada vez más aire, por lo tanto, mayor número de electrones. Como la producción de electrones se lleva acabo con la energía de la radiación, ésta entra en un proceso de debilitamiento.

A menor altura, la proporción en que aumenta la concentración del gas queda contrarrestada por el proceso de debilitamiento de la intensidad de la radiación. En el punto en que ambas quedan equilibradas, la producción de electrones es máxima; por debajo de este nivel la

producción de electrones sería menor, pues aunque la concentración de gas continua aumentando, la intensidad de la radiación disminuye con mayor rapidez. El nivel de mayor producción de electrones se llama "cresta" de producción. Ver figura I.3.4

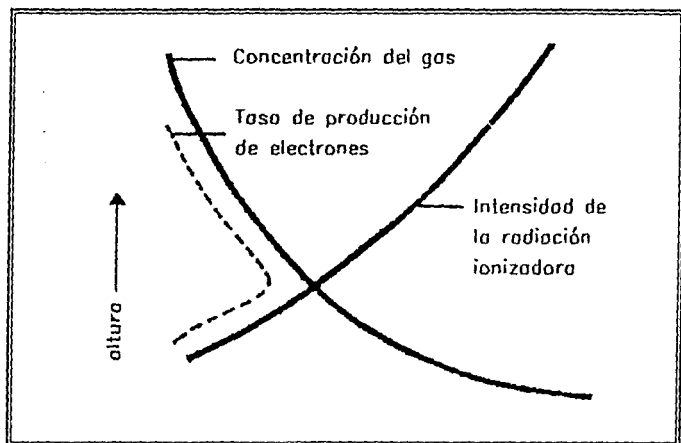


Figura I.3.4

Chapman investigó detalladamente este asunto y demostró que esta producción de electrones debida a la ionización varía con la altura según la curva representada en la figura I.3.5.

En la figura I.1.3 se muestra una distribución típica de densidades electrónicas al mediodía y a la medianoche. En la misma figura se indican la capas ionosféricas correspondientes según sus alturas respectivas.

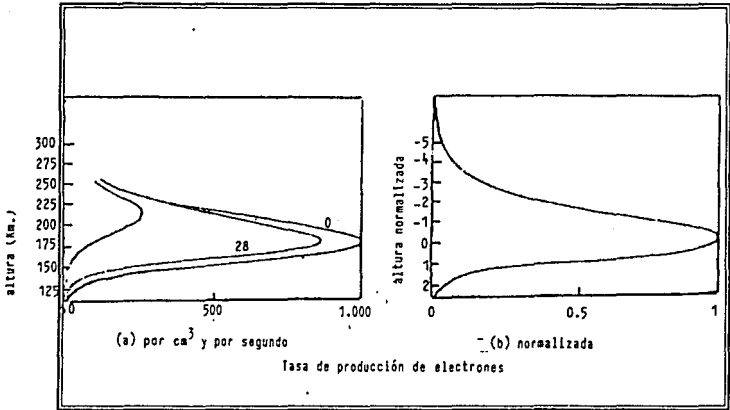


Figura I.3.5

I.3.5 DENSIDAD ELECTRONICA.

La ionización de las capas es causada por los rayos X, UV y por la radiación corpuscular.

Al subir el Sol, la ionización aumenta su fuerza, el número de electrones e iones libres aumenta, alcanzando su máximo cuando el Sol está en su posición más alta. En la puesta del Sol la ionización baja y la recombinación aumenta, después de la puesta del Sol se restablece un estado neutral. Esto sucede más rápidamente a densidades atmosféricas mayores; es decir, a alturas menores.

La figura I.3.6 muestra una distribución de densidades de electrones. Las altas frecuencias son reflejadas

por las capas cuya densidad Electrónica es alta, mientras que las capas con baja densidad las dejan pasar.

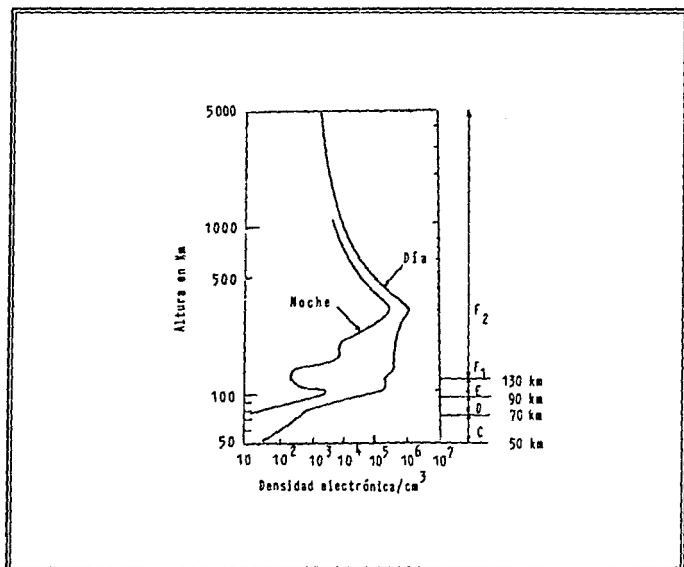


Figura 1.3.6

1.3.6 CAMPO MAGNETICO.

En la superficie de la Tierra se presenta un campo magnético en el polo norte cerca de los 76° N y 102° O y en el polo sur cerca de los 68° S y 145° E en el Antártico.

Sin embargo, estas coordenadas no son constantes; es más, la posición geográfica de los polos cambia lenta-

mente y como resultado lo mismo hacen las líneas magnéticas de fuerza sobre la superficie de la Tierra.

La intensidad del campo magnético terrestre está, además, sujeta a fluctuaciones diarias y es causada por la actividad del Sol.

Estos cambios en los campos de fuerza se atribuyen a corrientes que pasan, en particular, en la capa E, como resultado de la ionización y recombinación, e inducen corrientes en la superficie de la Tierra.

En días de baja actividad eléctrica las fluctuaciones en el campo magnético de la Tierra son pequeñas. Sin embargo, cuando surgen tormentas ionosféricas, las corrientes en la IONOSFERA cambian considerablemente en poco tiempo y las latitudes norte y sur (zonas de la Aurora) en particular, alcanzan valores muy altos (106 A). Las corrientes inducidas en la superficie de la Tierra también aumentan y por lo tanto, las fuerzas de campo magnético de la Tierra y el patrón de las líneas magnéticas de fuerza dependen también del estado de la IONOSFERA.

En la atmósfera superior, se mueven electrones libres a una velocidad dada y serán desviados por el campo magnético terrestre de su trayectoria lineal en una forma espiral al rededor de las líneas de fuerza magnéticas.

La velocidad angular a la cual el electrón se mueve se determina por su carga eléctrica, masa e intensidad del campo magnético.

Cuando la onda electromagnética entra en la IONOSFERA y debido a la presencia del campo magnético forman lo que se conoce como girofrecuencia (F_h) que se puede sumar o restar a la frecuencia de la señal transmitida para darnos como resultado dos frecuencias diferentes; una que se llama frecuencia ordinaria y la otra frecuencia extraordinaria.

Las condiciones de la IONOSFERA no son iguales para la onda ordinaria y la extraordinaria, sus reflejos tienen lugar a diferentes alturas con diferentes densidades de electrones. La onda ordinaria es menos atenuada que la extraordinaria.

Si se considera que la frecuencia es igual a la girofrecuencia (F_h), la onda extraordinaria será absorbida casi totalmente y solo la onda ordinaria podrá ser recibida.

Después de dejar la IONOSFERA la frecuencia originalmente emitida, otra vez surge de las dos ondas, si no hay más influencia del campo magnético de la Tierra.

I.3.7 TEMPERATURA

Los movimientos de los átomos y moléculas atmosféricas debidos a la temperatura son los que impulsan a éstos hacia alturas superiores, superando la atracción de la gravedad. La temperatura es uno de los parámetros que influyen en el comportamiento de la atmósfera superior.

Debido a que la temperatura resulta difícil de medir en la atmósfera, se deben de tomar en cuenta diversos métodos de medición como los obtenidos por los espectros de masa, las sondas de altura y los experimentos de Thomson.

La temperatura en la atmósfera queda determinada por el equilibrio entre el calor que recibe y el calor que pierde. Recibe calor, principalmente en los niveles en que la radiación del Sol se absorbe más fácilmente y la pérdida de calor se puede producir por conducción a través de las zonas vecinas o por radiación.

El proceso de conducción implica la transferencia de energía calórica por colisión entre una partícula y otra. Se produce radiación si existen átomos o moléculas que puedan absorber energía en colisiones térmicas con otras partículas y radiarla después en forma de fotones infrarrojos que van alejando la energía del lugar de origen.

A una altura de 80 Km, en la atmósfera, las radiaciones más susceptibles de absorción son las que producen la ionización, y la aportación más importante de calor se produce en la región F1, a una altura de unos 200 Km.

La energía de los fotones en esta radiación es mucho mayor que la necesaria para ionizar los átomos y las moléculas, de manera que la energía sobrante queda compartida entre los electrones y los iones, más pesados, en que queda dividida la partícula neutra.

En la figura I.3.7 se muestra la temperatura de los electrones, iones y gas neutro, (a) cerca del amanecer y cerca del mediodía (b) a las 13:31 horas.

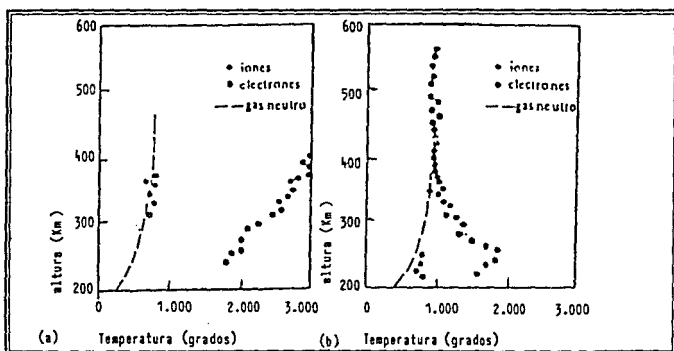


Figura I.3.7

La temperatura de los iones y los electrones se obtuvieron con resonadores de Thomson, y la de las partículas neutras por medio de observaciones de los satélites.

Mientras el Sol ilumina la atmósfera, se están continuamente produciendo nuevos electrones en una extensa zona cuya cumbre está a unos 200 Km y reciben el nombre de foto-electrones. Los que descienden a atmósferas más densas depositan la mayor parte de su energía cerca de su lugar de origen, mientras los que ascienden hacia atmósferas más diluidas transportan su exceso de energía a distancias considerables.

La temperatura que puede adquirir un grupo de electrones depende no solo de la cantidad total del calor comunicado, sino también del número de electrones que reciben el calor.

Por eso, cuando los electrones adyacentes reciben la energía de los foto-electrones, el aumento de temperatura dependerá de lo cerca que se encuentren: Si su concentración es pequeña, aumentara más que si la concentración es grande.

El momento más favorable en la IONOSFERA para que se produzca un gran aumento en la temperatura de los electrones es inmediatamente después de la salida del Sol en la zona F, momento en que se producen muchos

foto-electrones nuevos y hay relativamente pocos electrones alrededor para compartir la energía.

Una vez excitados los electrones ionosféricos por la acción de los foto-electrones, comunican su calor a los iones y partículas neutras, aunque más fácilmente a los iones, debido a las fuerzas eléctricas que actúan entre ellos. Los iones a su vez chocan con las partículas neutras y comparten con ellas su energía. Finalmente las partículas neutras pierden su energía, por radiación o por conducción, en favor de la atmósfera inferior.

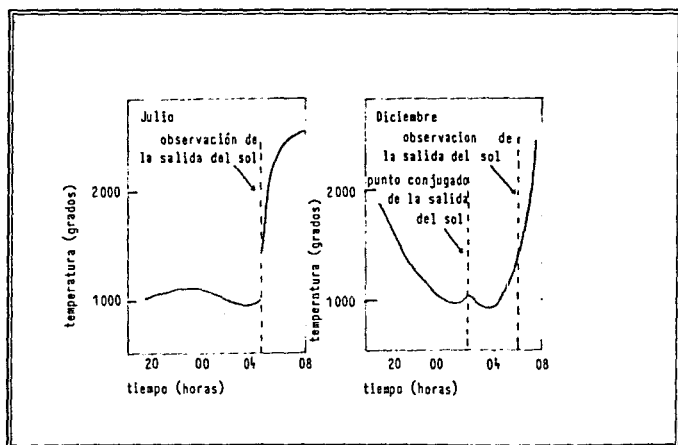


Figura I.3.8

En la figura I.3.8 se muestran los cambios producidos a la salida del Sol en la temperatura de los electrones a una altura de 450 Km.

I.3.8 VARIACIONES IRREGULARES DE LA IONOSFERA

Este tipo de variaciones a menudo, son impredecibles y a veces tienen una marcada influencia sobre la propagación de las ondas radioeléctricas. Una de estas variaciones es conocida como efecto Dellinger, el cual consiste en lo siguiente:

Frecuentemente ocurren ráfagas solares acompañadas por una fuerte emisión de rayos X. Estos rayos penetran la atmósfera hasta la capa D, donde causan una ionización tan intensa que prácticamente todas las ondas de radio se absorben, y pueden interrumpir todas las radiocomunicaciones en bandas de onda corta por períodos de unos minutos hasta una hora.

La figura I.3.9, muestra el registro de un evento de este tipo y como afecta a una transmisión de radio. Al principio el voltaje de entrada en el receptor cae en unos pocos minutos a 0V. Después de una hora empieza un aumento lento, el cual indica la recombinación de la ionización de la capa D. Después de otra hora el voltaje del receptor regresa a su valor normal.

Otro tipo de irregularidad, es la que afecta solamente a las regiones polares durante el período de máxima actividad solar, suele conocerse como absorción del casquete polar o bien como Auroras Boreales o Australes, es una ionización excesiva de las capas que

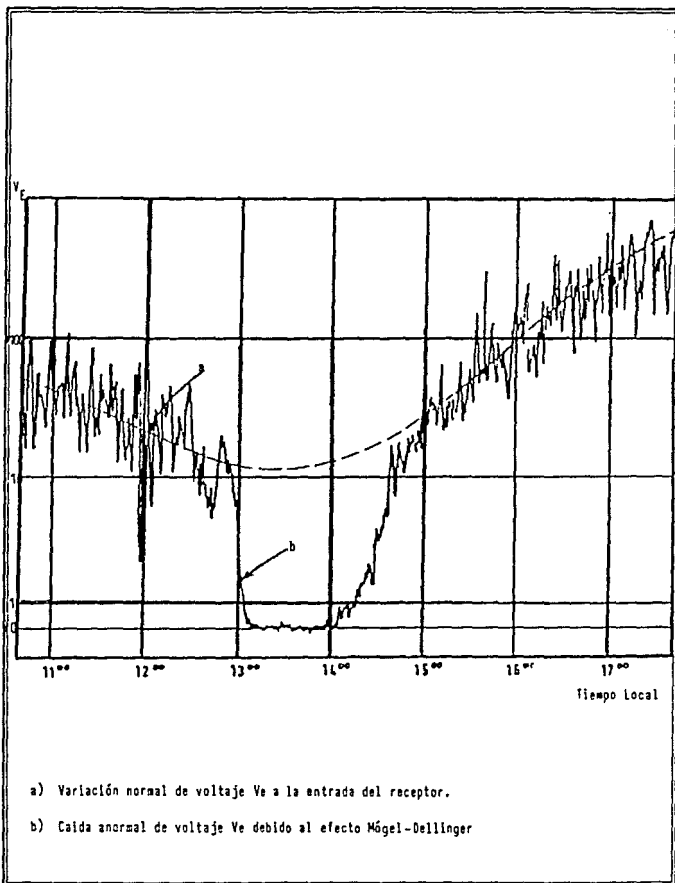


Figura I.3.9

circundan el casquete polar, y que dan un efecto muy característico parecido a un resplandor de colores en movimiento, esto es debido al viento solar causado por el aumento repentino de la actividad del Sol.

Las partículas cargadas eléctricamente causan disturbios en el campo magnético de la Tierra. Pueden ocurrir tormentas magnéticas, acompañadas de Auroras visibles en las regiones polares, donde los disturbios se originan de pronto. A menudo pasan varios días hasta que el campo magnético terrestre recupera su estado normal.

La influencia que las Auroras ejercen en un enlace de onda corta se muestra en la figura I.3.10.

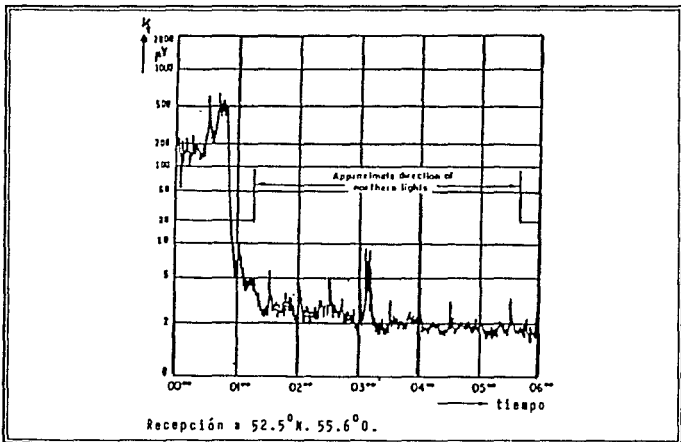


Figura I.3.10

Poco antes del inicio de la Aurora el voltaje en el receptor sube de 5 a 10 veces el valor con respecto a un enlace sin disturbios y entonces, después de pocos minutos, cae casi a cero. Este estado persiste mientras dura el efecto de la Aurora. La recuperación del enlace empieza solo en las horas de la mañana.

Como comparación, la figura I.3.11, muestra la recepción sin disturbios obtenida un día después del fenómeno.

Durante el período de 4:45 a 5:45, el transmisor fue apagado, el ruido obtenido por el receptor durante este tiempo es muy parecido al que se presentó después de que empezaran los disturbios de la Aurora (figura I.3.10).

Por lo tanto, se puede considerar que durante los disturbios no se recibió ninguna señal de la estación transmisora.

I.3 PARAMETROS IONOSFERICOS

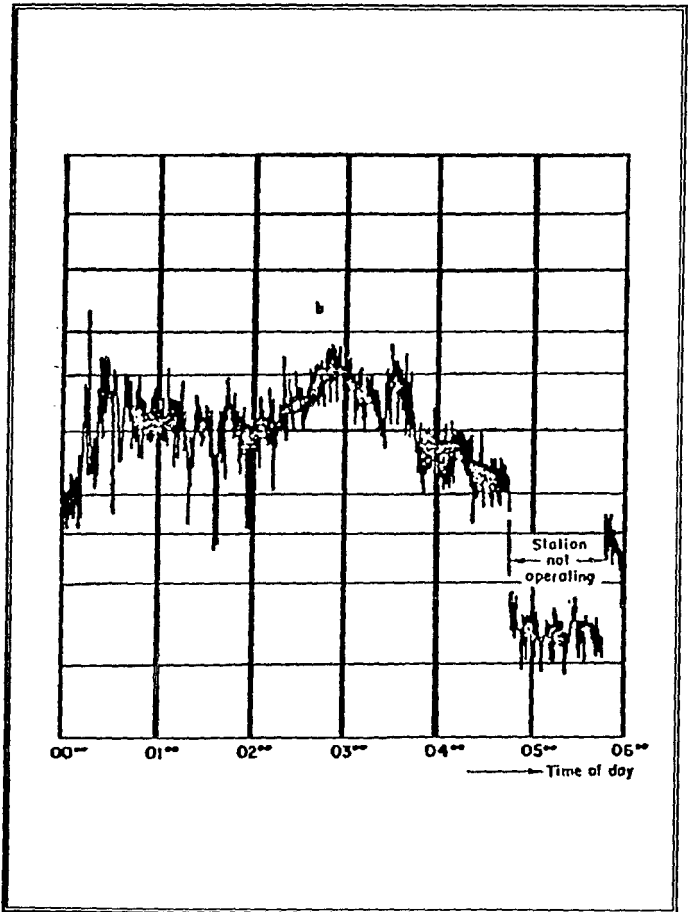


Figura I.3.11

PARAMETROS IONOSFERICOS

Las condiciones de la IONOSFERA tienen una marcada influencia en las radiocomunicaciones. A continuación se muestran los parámetros ionosféricos y su efecto en la transmisión.

PARAMETRO IONOSFERICO

EFECTO

-Número de Manchas Solares

Es el principal responsable de afectar a la frecuencia de operación

-Densidad y Presión Atmosférica

Influyen en la altura a la que se da la reflexión

-Tasa de Producción de Electrones

Afecta el índice de absorción junto con las alturas de las capas

-Densidad Electrónica

Nos da las características de reflexión que se producen en las diferentes regiones de la IONOSFERA

-Campo Magnético

Da lugar al fenómeno de la girofrecuencia

-Temperatura

El aumento de la temperatura de los electrones durante el día produce la división de la capa F en F1 y F2

-Variaciones Irregulares

Las ondas de radio se absorben y se interrumpe la radiocomunicación por períodos de unos minutos hasta algunas horas (Efecto Dellinger)

I.4 PREDICCIONES IONOSFERICAS A CORTO Y LARGO PLAZO

- I.4.1 MAXIMA FRECUENCIA UTILIZABLE (MUF) Y FRECUENCIA OPTIMA DE TRABAJO (FOT)**
- I.4.2 CARTAS DE PREDICCIONES IONOSFERICAS**
- I.4.3 PROCEDIMIENTO PARA ENCONTRAR LA MUF PARA SALTO SIMPLE**
- I.4.4 BOLETINES DE PREDICCIONES IONOSFERICAS**

En vista de que los parámetros ionosféricos varían durante las horas del día, en los días del año, y con el ciclo de actividad solar, es necesario conocer como es esta variación con el fin de seleccionar las frecuencias óptimas para establecer una buena comunicación.

Las predicciones a corto plazo son requeridas por los operadores, si los cambios de frecuencia que tienen que realizar se hacen en forma manual, y esto lo tienen que hacer constantemente a lo largo del día. Por lo tanto, se necesita que se hagan estos cambios adecuadamente para no perder la comunicación.

Pero en la actualidad, la tecnología ha tenido un gran avance en las radiocomunicaciones, de tal manera que la transmisión por medio de la IONOSFERA no es obsoleta como se pensaba, ya que se cuenta con equipo que realiza la selección de frecuencia en forma automática. Estos equipos realizan un barrido y escogen la frecuencia óptima de trabajo durante las diferentes horas del día.

Las predicciones a largo plazo, son requeridas para una buena planeación de las radiocomunicaciones, para esto se emplean las cartas de predicciones ionosféricas mundiales, en las que se emplea la MUF, que es la máxima frecuencia que puede reflejarse para una comunicación entre dos puntos.

La IONOSFERA nunca constituye un medio de transmisión con propiedades constantes.

I.4.1 MAXIMA FRECUENCIA UTILIZABLE (MUF) Y FRECUENCIA OPTIMA DE TRABAJO (FOT)

Aunque la frecuencia crítica en cada capa representa la frecuencia más elevada, que será reflejada a una incidencia vertical, no es la frecuencia más alta que pueda reflejarse en la capa. La frecuencia más elevada que puede reflejarse en una capa depende del ángulo de incidencia. La máxima frecuencia que puede reflejarse para una comunicación entre dos puntos se denomina máxima frecuencia utilizable (MUF). La máxima frecuencia utilizable esta dada por:

$$MUF = f_c \sec \phi_i \quad (I.4.1)$$

ϕ_i = ángulo de incidencia oblicuo

f_c = frecuencia crítica

La máxima frecuencia utilizable para una capa es mayor que la frecuencia crítica según el factor $\sec \phi_i$. El mayor ángulo de incidencia ϕ_i , que puede obtenerse para la reflexión en cada capa se calcula, considerando la curvatura de la tierra y el estado de la IONOSFERA a diferentes alturas. Donde:

$$\phi_i(\max) = (1/\text{sen}) * [r/(r+h)]$$

$r+h=h'$ (altura virtual)

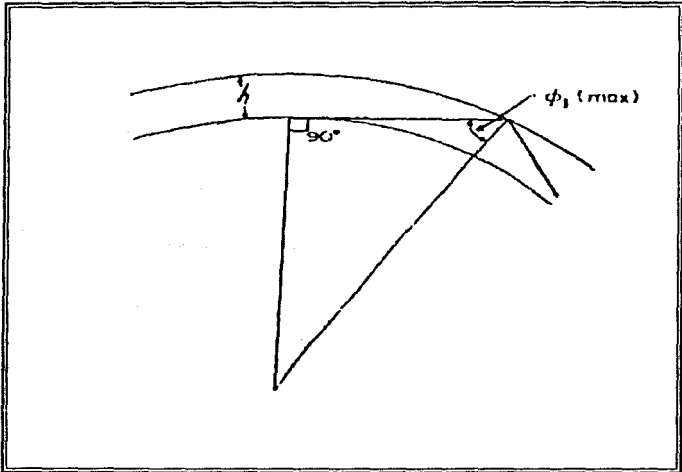


Figura 1.4.1

Frecuencias que, durante las horas del día caen por debajo de la MUF, pueden penetrar la capa reflectora por un período corto de tiempo, cuando la ionización gradualmente decae, la radiocomunicación tiende a degradarse.

De ahí en adelante la señal puede recuperar rápidamente su valor previo porque la intensidad de la ionización es otra vez suficiente para reflejar las frecuencias. Este proceso puede ser repetido rápidamente

muchas veces antes de que un estado estable sea logrado en la IONOSFERA. Este tipo de disminución difícilmente ocurre durante la mayor parte del día. Y cuando ocurre, se producen más cambios en la IONOSFERA, principalmente al amanecer y al ocaso. Para tratar de evitar disturbios en la recepción, no es suficiente un control de volumen automático en el receptor, porque las fluctuaciones del campo de fuerza de la señal suceden una tras otra rápidamente.

La medida más efectiva es cambiar la frecuencia y/o el ángulo de operación a la hora correcta; cambiar la frecuencia de día a noche justo antes de la puesta del Sol, y de noche a día inmediatamente después del amanecer.

La figura I.4.2, muestra las posibles trayectorias de radiación para frecuencias que caen considerablemente o justo abajo de la MUF.

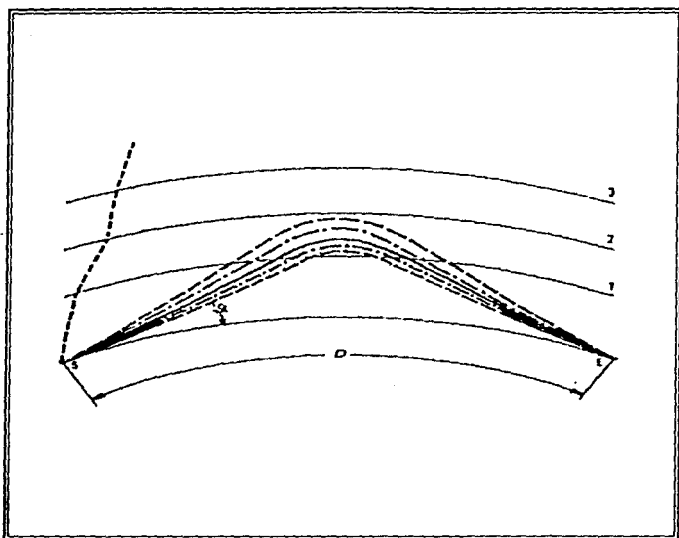


Figura I.4.2

- 1 Límite inferior eficaz de la capa activa de la IONOSFERA
- 2 Máxima elevación de la densidad de electrones
- 3 Límite superior eficaz de la capa activa de la IONOSFERA.

- Trayectoria de radiación con ángulo bajo y alto de elevación y la frecuencia muy por debajo de la MUF
 - Trayectoria de radiación con ángulo bajo y alto de elevación y la frecuencia solo un poco debajo de la MUF.
 - _____ Trayectoria de radiación de la MUF
 - Trayectoria de radiación de una frecuencia por encima de la MUF.
- D** Distancia de salto de la MUF
- ϑ** Angulo de elevación de radiación

Para una MUF dada solamente existe una trayectoria de radiación con su correspondiente ángulo de elevación. Cuando mayor sea la frecuencia, mayor será la distancia de salto, siempre y cuando las condiciones de ionización sean las adecuadas.

La figura I.4.3, muestra una familia de curvas que dan las máximas frecuencias utilizables para un enlace de Manzanillo, Col., a Mazatlán, Sin. para la época invernal y durante un período de máxima actividad solar. Como se observa en la figura, tenemos graficado el tiempo de un día (24 horas) contra la frecuencia en MHz. Al amanecer y al ocaso es cuando utilizamos las frecuencias más bajas de transmisión y al medio día las frecuencias

más altas para cada curva de la MUF, esto se debe a la ionización.

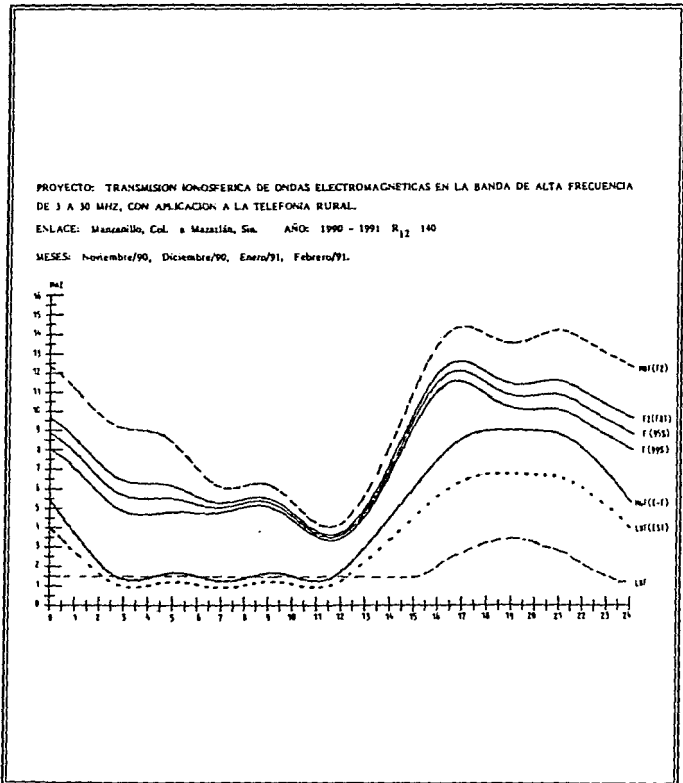


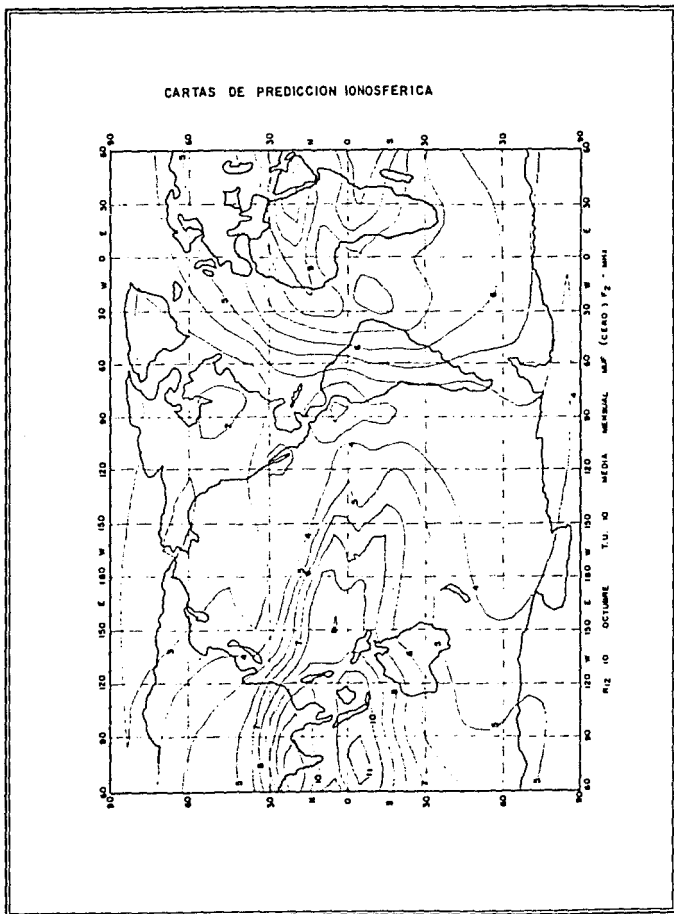
Figura 1.4.3

A diferencia de todas las frecuencias por debajo de la óptima, la MUF tiene solo una trayectoria de propagación y provee, generalmente, las mejores posibilidades de recepción. Sin embargo, como está en la frontera entre una reflexión a la Tierra o una penetración de la IONOSFERA, y como la estructura de la IONOSFERA no es constante en el tiempo, las condiciones de propagación de la MAXIMA FRECUENCIA UTILIZABLE, consideradas a largo plazo, no se aseguran permanentemente.

Por esta razón, para la determinación de frecuencias de operación utilizables, no usamos la MUF, sino la FOT (FRECUENCIA OPTIMA DE TRABAJO), la cual es 15% menor que la MUF. Como es deseable restringir el número de las distintas frecuencias disponibles a un número razonable, se debe de tomar cierto margen de seguridad al elegir la frecuencia a emplear. Así, la frecuencia óptima para una transmisión entre dos puntos se selecciona con un valor entre el 50 y 85% de la máxima frecuencia utilizable calculada con las curvas de trayectoria.

I.4.2 CARTAS DE PREDICCIONES IONOSFERICAS

El comportamiento de la región F2, es muy irregular y no se puede representar analíticamente, pero en vista de que es la capa más importante en las radiocomunicaciones se han elaborado mapas mundiales con las variaciones de MUF (cero) F2 en el emisor (figuras I.4.4 y I.4.5) y MUF (4000) F2 en el receptor a 4000Km. del emisor (figuras I.4.6 y I.4.7), en función de las horas del día, de la estación del año y del número de manchas solares.



1.4 PREDICCIONES IONOSFERICAS A CORTO Y LARGO PLAZO

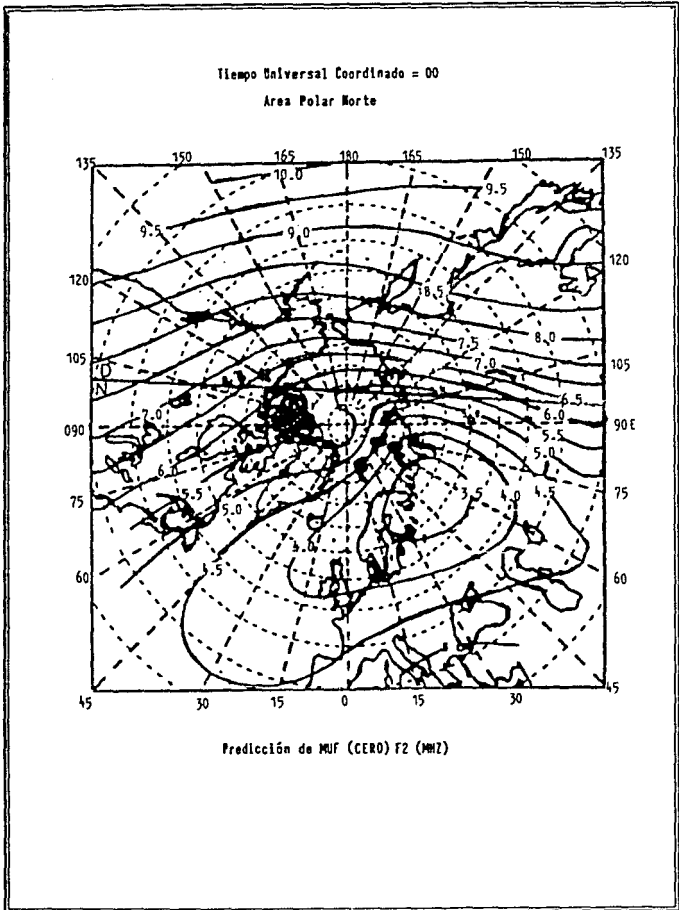


Figura 1.4.5

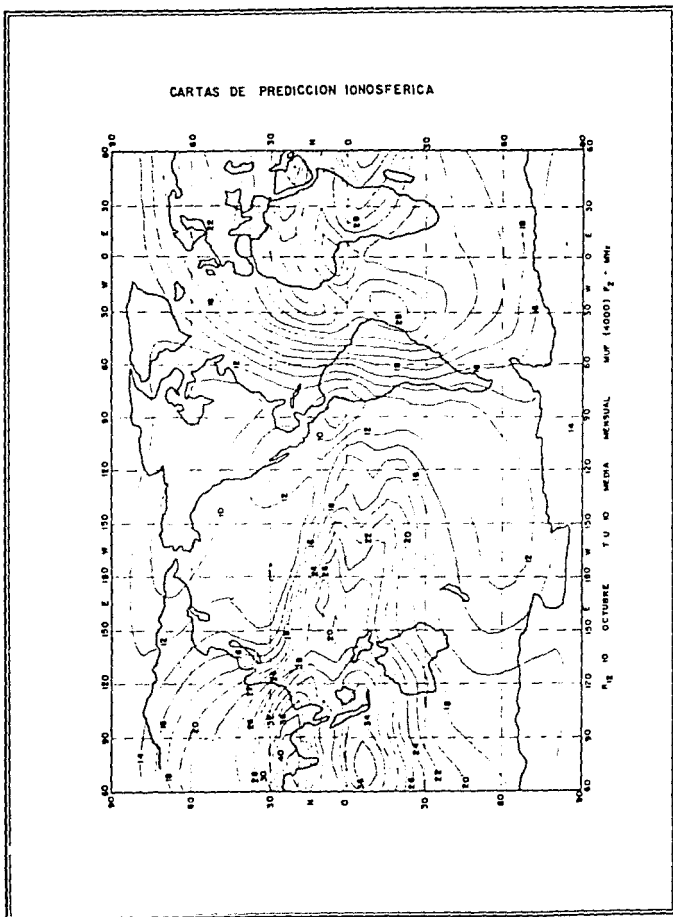


Figura 1.4.6

1.4 PREDICCIONES IONOSFERICAS A CORTO Y LARGO PLAZO

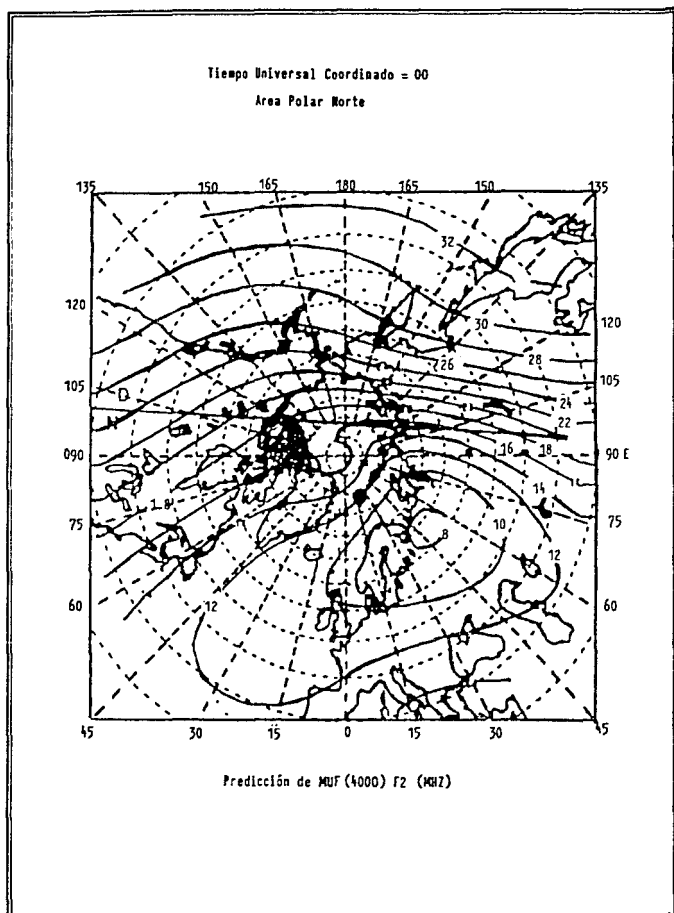


Figura 1.4.7

Las figuras anteriores muestran en sus ejes, la longitud y la latitud en grados de la capa F2, las curvas mostradas en las figuras I.4.6 y I.4.7 indican la inclinación del ángulo de incidencia para un salto de 4000 Km.

Las cartas de predicción gráfica se preparan utilizando el tiempo universal coordinado (U.T.C.), definido como el tiempo medio local en el meridiano de Greenwich (longitud cero). Por lo tanto, si deseamos el tiempo local o estándar este se debe de transformar.

Para calcular la MUF, es necesario conocer la longitud de la trayectoria y la latitud de los puntos A y B (transmisor y receptor) y la localización de ciertos puntos de control (punto donde se produce la reflexión en la IONOSFERA) de la trayectoria de transmisión que los une, tal que las condiciones ionosféricas sobre ellos parecen controlar la transmisión.

Para trayectorias inferiores a 4000 Km (propagación de un solo salto) el punto de control esta a la mitad de la trayectoria. Para distancias mayores a 4000 Km se usa el método de doble punto de control. Este método supone lo siguiente:

- a) En la capa F2 hay puntos de control sobre la trayectoria de propagación (figura I.4.8) a 2000 Km de cada terminal. En la figura las curvas continuas representan 1000Km. y las curvas punteadas 500 Km.

- b) Las condiciones ionosféricas en los puntos de control determinan las frecuencias que pueden ser empleadas.
- c) La más alta frecuencia que pueda ser propagada por el transmisor, es aproximada a la más alta frecuencia que puede llegar o salir de ambas terminales.

Como el número de saltos en una trayectoria no es único, debido a que el número de posibles trayectorias se

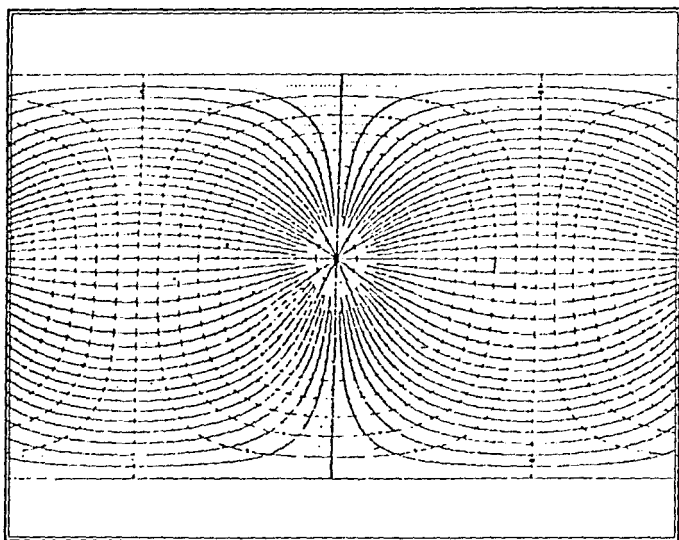


Figura 1.4.8

incrementa, el análisis detallado de propagación ionosférica para un enlace se hace por métodos gráficos.

I.4.3. PROCEDIMIENTO PARA ENCONTRAR LA MUF PARA SALTO SIMPLE

- a) Coloque una hoja de papel transparente sobre el mapa mundial (figura I.4.9). Dibuje la línea ecuatorial (cero grados de latitud), el meridiano de Greenwich (cero grados de longitud), y cualquier otro meridiano como referencia. Marque puntos sobre las dos estaciones de la trayectoria de transmisión, marcando con una A un extremo y con una B el otro.

- b) Coloque la transparencia sobre la trayectoria de propagación (figura I.4.8) de manera de que coincidan la línea ecuatorial de la transparencia con el ecuador de la trayectoria de propagación. Deslice la transparencia horizontalmente hasta que los puntos terminales A y B, coincidan ambos sobre la misma trayectoria de propagación para que estén a la misma distancia proporcional entre trayectorias adyacentes.

- c) La longitud de la trayectoria de transmisión esta determinada desde el punto-línea de arranque, numerado en miles de kilómetros, desde el centro de las curvas del sistema de la

trayectoria de propagación y las curvas intermedias punteadas que indican intervalos de 500 Km. La distancia y la posición del grupo intermedio y los puntos de control pueden ser medidos a escala, marcándolos sobre la transparencia.

- d) Coloque la transparencia de la trayectoria de propagación sobre cada uno de los mapas F2 (cero) MUF, teniendo cuidado de superponer exactamente el ecuador y el meridiano de referencia sobre sus correspondientes líneas en el mapa. Lea y tabule los valores de F2 (cero) MUF, en el punto intermedio de la trayectoria para cada mapa.
- e) De igual manera, lea y tabule F2 (4000) MUF, en el punto intermedio de la trayectoria para cada mapa.
- f) Obtenga F2 MUF para la trayectoria de transmisión por interpolación en el nomograma, trazando un corte recto entre los valores de F2 (cero) MUF y F2 (4000) MUF, para el mismo tiempo universal coordinado (U.T.C.). Lea y tabule la MUF en la intersección del trazo recto con la distancia apropiada en la línea vertical, interpolando entre las líneas oblicuas.

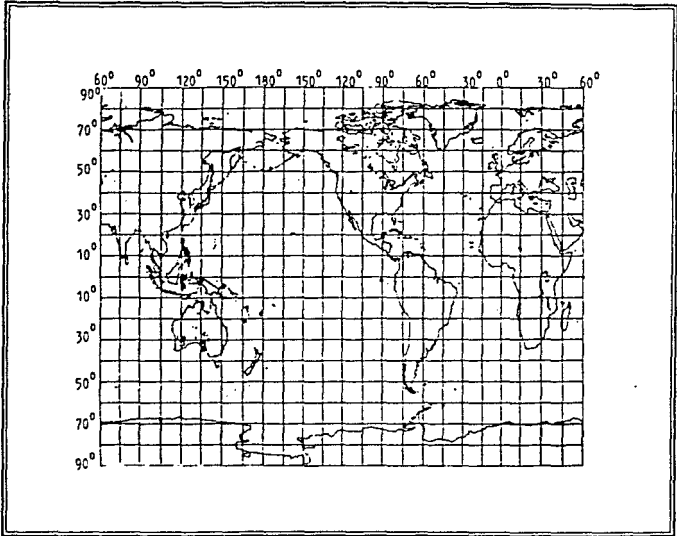


Figura I.4.9

I.4.4 BOLETINES DE PREDICCIONES IONOSFERICAS

La información de las predicciones ionosféricas mundiales, es proporcionada por estaciones ionosféricas, las cuales se encuentran instaladas alrededor del mundo.

Este tipo de información se publica en un boletín. Las estaciones radiodifusoras que dan información de las predicciones de la MUF (máxima frecuencia utilizable) y

la frecuencia óptima de trabajo (FOT) en la capa F, son las estaciones WWV y WWH, las cuales se localizan en Collins, Colorado, E.E.U.U.

Desde 1974, estas estaciones, han proporcionado información de las condiciones del Sol, del campo magnético de la Tierra y del espectro de radio. Proporcionan un boletín cada 14 minutos después de cada hora que esta basado en lo siguiente:

En la primera parte, se describe como se pronostica la calidad de transmisión, ya sea desde "inutilizable" hasta "excelente", la cual consta de nueve pasos.

A continuación, se indica la condición del campo magnético de la Tierra, ya sea que se encuentre: "calmado", "inestable" o "activo", después viene una letra con un número el cual indica el pronóstico, W (inestable), U (calmado), y N (activo).

La segunda parte del boletín, nos indica la absorción que existe en la capa, representándola por el índice K, si el índice de absorción se encuentra entre los valores de 0 a 1, la absorción es muy baja en el rango de HF, y generalmente indica que hay buena propagación en la capa F.

Un aumento en el índice K, afecta principalmente a las bandas bajas y afecta severamente las trayectorias en latitudes altas. Cuando el índice K es 3, muestra

pequeños efectos en la banda de 21 a 28 MHz en las latitudes bajas.

Un índice por arriba de 4, indica que los disturbios en las capas se incrementan considerablemente.

El artículo final del boletín, indica cual es el número de manchas solares.

De esta manera podemos conocer los diferentes parámetros que afectan a la IONOSFERA, y por lo tanto, conocer el comportamiento de éstos para poder seleccionar la mejor frecuencia de trabajo durante las comunicaciones.

I.5 CICLO DE ACTIVIDAD SOLAR

- I.5.1 MANCHAS SOLARES - CICLO DE ACTIVIDAD SOLAR**
- I.5.2 LA RADIACION DE PARTICULAS--EL VIENTO SOLAR**
- I.5.3 DISTURBIOS SOLARES**

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Para efectuar una Transmisión de radio confiable en HF, se debe conocer el medio de transmisión lo más ampliamente posible, de allí que el conocimiento del Sol que es el principal agente regulador de las condiciones de este medio se torne muy importante. De manera que para un buen análisis se deben tomar en cuenta ciertos fenómenos Solares tales como: Las manchas Solares y el ciclo de actividad solar que originan así como, la emisión de partículas y su desplazamiento por el espacio debido al viento solar. Así mismo se deben considerar los efectos que se producen en las capas eléctricamente conductoras de la IONOSFERA terrestre debido a los disturbios Solares. Teniendo en cuenta lo anterior se tendrá un punto más para garantizar una eficiente comunicación.

I.5.1. MANCHAS SOLARES - CICLO DE ACTIVIDAD SOLAR

La mayor parte de la luz y el calor que el Sol emite procede de la fotosfera (zona luminosa y mas interior de la envoltura gaseosa del Sol). La temperatura media de esta porción solar supera los 6000° C. La fotosfera representa solamente una de las muchas capas que constituyen el Sol.

En la superficie del Sol se observan superficies oscuras. Algunas de ellas tienen el tamaño suficiente (de 800 a 80 000 Km de diámetro), para ser vistas sin ayuda de telescopio, las cuales son llamadas manchas Solares.

El índice (R), determinado según mediciones hechas por varios observatorios, se utiliza para representar el número y área de las manchas Solares. La magnitud de R varia entre cero y ciento cincuenta en un período de aproximadamente 11 años. La variación cíclica de períodos ya ocurridos se muestra en la figura I.5.1. a estos períodos se les denomina Ciclo de Actividad Solar, en la figura I.5.2. se muestra el ciclo de actividad solar de 1981 a 1993 que se utiliza en el presente trabajo.

La duración de las manchas Solares varía desde unos pocos días, en el caso de las pequeñas, hasta cien en el caso de las grandes. Estas últimas miden 120 000 Km. de diámetro, y la longitud de los grupos de manchas Solares de Este a Oeste llega a 250000 Km. Las manchas Solares se consideran como agujeros en el estrato superficial de los gases Solares.

Dichos gases al calentarse en el interior emergen a la superficie y se esparcen, después giran en espiral y al hacerlo se reduce su temperatura a cerca de 1300° C, o sea que son más fríos que la fotosfera circundante, y se obscurecen porque los gases al enfriarse pierden gran parte de su brillo.

Si bien aún no se comprende cabalmente porque el número de manchas Solares puede proveer una medida aproximada de la intensidad de las radiaciones de rayos X y ultravioleta, es de utilidad para conocer el grado de ionización de la atmosfera terrestre así como el índice de

absorción en la capa D, el cual provocara las pérdidas ionosféricas en las frecuencias de radio en H F como veremos posteriormente en el capítulo II.4

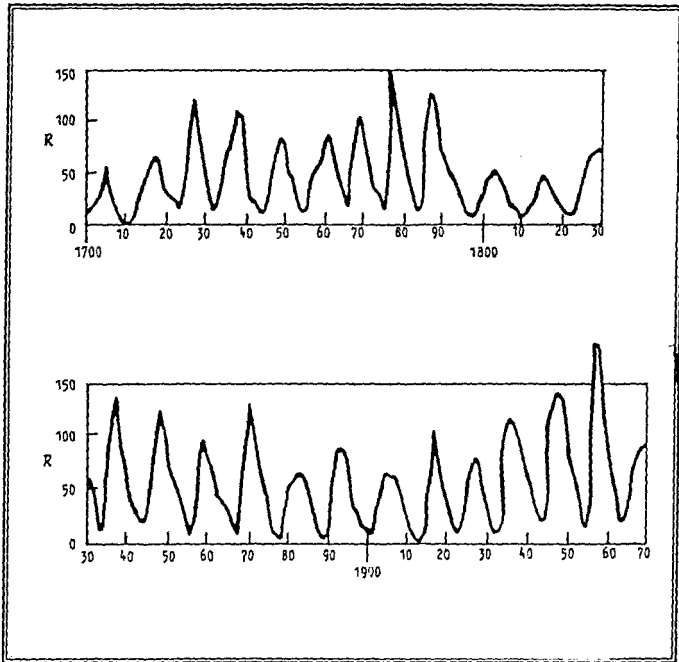


Figura I.5.1

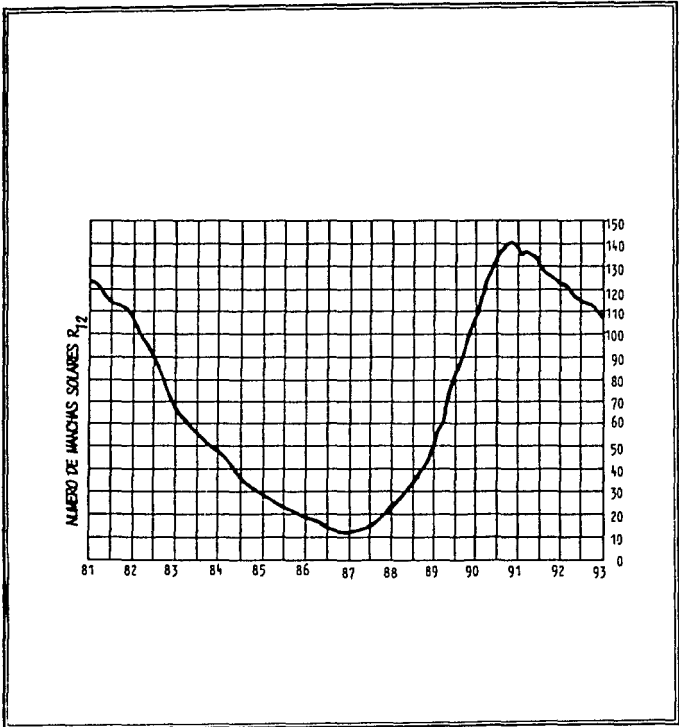


Figura I.5.2

I.5.2. Radiación de Partículas - Viento Solar.

La corona solar esta constituida completamente por plasma ionizado, principalmente protones y electrones, sostenidos en la superficie por gravedad y por gradientes internos de presión que dependen de la temperatura. Debido a que la temperatura disminuye con la distancia radial (r) que recorre. El plasma coronal se acelera hacia el exterior para formar una corriente de protones y electrones moviéndose con velocidades del orden de 4×10^5 m/seg. conocida como viento solar.

Este viento solar se detecto por mediciones de satélites a grandes distancias de la Tierra de cerca de 15 radios de la misma.

TABLA: EL VIENTO SOLAR - SOL QUIETO

Velocidad de las partículas (v)	3×10^5 m/seg
Flujo de partículas (F)	1.5×10^{12} seg/m ²
Concentración de partículas (n) = F/v	5×10^6 1/m ³
Energía de un protón en el viento (E)	8×10^{-17} J = 500 eV
Energía de un electrón en el viento	0.25 eV (Despreciable comparada con la energía de un protón)
Densidad de energía (nE)	4×10^{-10} J/m ³
Potencia del flujo (nvE)	1.2×10^{-4} W/m ²

La tabla anterior muestra las magnitudes de algunas cantidades importantes del viento solar en la vecindad de la Tierra.

El tiempo que tarda en rotar el Sol en su eje una vez es de 27 días de modo que las partículas emitidas en sucesión desde una pequeña área son distribuidas más tarde a lo largo de una espiral en el viaje del viento solar hacia el exterior.

El acarreo del campo magnético con ellas les da la misma forma espiral. A la distancia de la Tierra la velocidad radial del viento solar, combinado con la velocidad circunferencial propia a la rotación de 27 días causa que las líneas de campo magnético formen un ángulo de casi 45° con respecto de la dirección radial.

El campo magnético espiral es frecuentemente dividido en 4 ó 6 sectores de aproximadamente igual tamaño, de tal forma que en los sectores adyacentes el campo es dirigido en sentido opuesto como se muestra en la figura I.5.3.

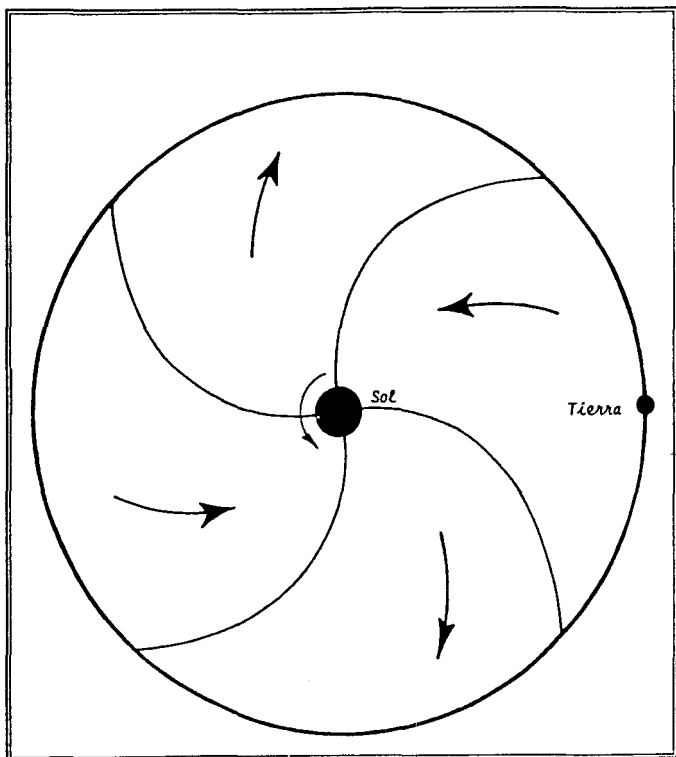


Figura 1.53

I.5.3. Disturbios Solares.

Algunas veces ocurren disturbios en el Sol acompañados por la emisión de una o más de las siguientes radiaciones cada una de las cuales puede producir por si sola un tipo propio de alteración en la IONOSFERA terrestre:

- a) **RAFAGA SOLAR.**- Es un incremento repentino en la intensidad de la línea visible de hidrógeno H - alfa (Radiación Lyman-alfa de rayos ultravioleta cuya longitud de onda es de 121.6 nm).

Este disturbio solar provoca en la Tierra un incremento en la ionización de las capas E y F de la IONOSFERA, lo cual permite la utilización de frecuencias de radio más altas que las normales para transmisiones en H F.

- b) **RAFAGA DE RAYOS X.**- Es un incremento repentino en la intensidad de la radiación X.

Las ráfagas de rayos X penetran la atmósfera superior hasta la capa D, donde provocan una intensa ionización lo cual genera que las ondas de radio en H F se lleguen a perder completamente por absorción.

- c) **EVENTO DE PLASMA SOLAR.**- Es una emisión de protones y electrones tan densa que interactúa entre las partículas dando las características de una nube de plasma. Esto provoca un incremento del viento solar normal el cual alcanza a la Tierra en aproximadamente 36 horas, provocando tormentas ionosféricas.

Cerca del nivel mínimo de manchas Solares, cuando hay pocas manchas visibles, los eventos de plasma solar continúan ocurriendo con bastante frecuencia. Tales eventos muestran una tendencia de recurrencia bien marcada de 27 días, algunas veces perdurando sobre varios ciclos de rotación solar.

- d) **EVENTOS PROTONICOS SOLARES.**- Es la emisión de energía protónica y Electrónica en pequeñas concentraciones tales que estas viajan como partículas cargadas independientemente. Las cuales llegan a la Tierra en unas cuantas horas.

Esta emisión proviene en particular de las regiones de manchas Solares y llega hasta las capas más bajas de la IONOSFERA provocando disturbios en el campo magnético terrestre.

Las partículas asociadas con un evento protónico solar tienen energías en el rango de 107 a 109 eV. Ellas se mueven como partículas independientes y son restringidas a seguir una línea del campo magnético solar en su viaje a la Tierra.

Algunas veces, siguiendo una línea de campo son dispersadas por irregularidades en el mismo sobre otras líneas y finalmente alcanzan la Tierra por una ruta de zig zag. Si existen cambios apreciables de campo dentro de un radio de giro (aproximadamente 10^5 Km.), las partículas pueden pasar de una línea de campo a otra.

El tiempo de llegada de las partículas asociadas con un evento protónico a la Tierra no está relacionado con su energía.

Aquellas que llegan por rutas más directas generalmente viajan del Sol a la Tierra en cerca de una hora.

Las ráfagas de rayos X, los eventos de plasma solar y los eventos protónicos a menudo son acompañados de ráfagas Solares. La recurrencia de todos los tipos de disturbios siguen el ciclo de actividad solar de 11 años.

Las partículas de plasma que son emitidas durante los eventos de actividad solar tienden a ser expulsadas en direcciones aproximadamente normales a la superficie solar de modo que estas alcanzan la Tierra, solamente si las manchas Solares asociadas están cerca del centro del disco solar. Generalmente las manchas tienden a pasar por el centro, en ese momento las partículas alcanzarán la Tierra.

Los fenómenos ionosféricos que son asociados con la emisión de partículas coinciden con el movimiento rotacional del Sol de 27 días.

Uno de los efectos más comunes generado en la IONOSFERA por la actividad solar son las Auroras.

El fenómeno de la Aurora se observa generalmente en latitudes de 60° a 70° y queda delimitado por los óvalos aurorales que rodean a los polos geomagnéticos (México se localiza entre los 16° y 32° de latitud Norte, por lo que este tipo de fenómenos no afectan sus comunicaciones internas).

Generalmente las Auroras ocurren a diario en las regiones Boreal y Austral. Aunque estas regiones son más o menos uniformes, su radio depende de la actividad del Sol; (ver Figura I.5.4.) por ello el lugar de ocurrencia es el que presenta más variación. Cuando la actividad del Sol es pequeña, el óvalo se contrae hacia el polo magnético

correspondiente; cuando la actividad aumenta el radio del óvalo tiende a crecer.

El período de expansión del óvalo coincide con el de una intensa tormenta magnética, que indica la llegada a las inmediaciones de la Tierra de una onda de choque generada en el espacio por un evento de plasma solar formado alrededor de dos días antes en la atmósfera solar de un viento solar intensificado (con una velocidad de alrededor de 800 Km/seg en contraste con los 400 Km/seg. que es su velocidad promedio normal), asociado a menudo con la ocurrencia de una ráfaga solar.

Frecuentemente se vincula a la actividad auroral con la geomagnética. Sin embargo, hay que hacer notar

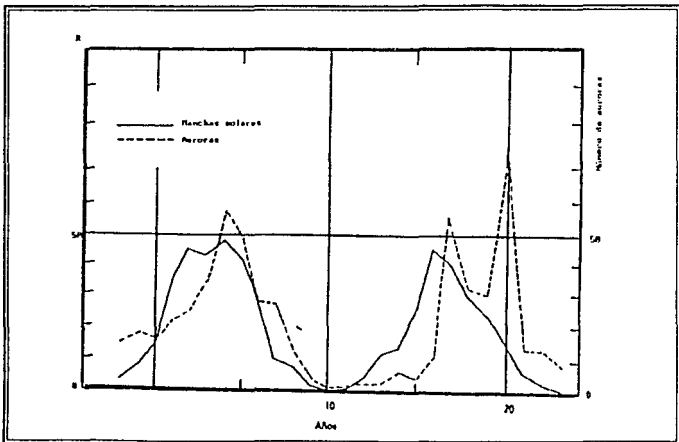


Figura 1.5.4

que la actividad auroral no está relacionada con el campo magnético terrestre, sino con una actividad magnética localizada generalmente sobre las regiones Boreal y Austral. En ese sentido, una tormenta geomagnética de gran magnitud no siempre tiene que ver con una aurora importante.

CAPITULO II

PROPAGACION

En este capítulo se analiza el comportamiento de las ondas electromagnéticas en su trayectoria por la ionósfera. El método que se utiliza se basa en una serie de nomogramas los cuales facilitan el cálculo matemático. De esta manera se hace más práctico el análisis de la onda corta en su viaje por la ionósfera.

En la primera parte se hace un análisis matemático de la atenuación y reflexión de las ondas electromagnéticas. En seguida se tratan las clases de ruido que afectan en una transmisión utilizando la ionósfera. En el tema de parámetros de propagación se describe la metodología para el cálculo de la intensidad de campo eléctrico en el receptor. En el siguiente tema se calculan las diferentes clases de pérdidas que sufre la onda electromagnética en su trayectoria de propagación. En la última parte del capítulo se tratan diferentes clases de antenas que se emplean en H.F. para distancias cortas y medias.

II.1 ANALISIS DE ATENUACION Y REFLEXION

II.1.1 ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE

II.1.2 ATENUACION EN LA IONOSFERA

II.1.3 REFLEXION EN UNA SUPERFICIE PLANA

II.1.4 REFLEXION EN LA IONOSFERA

II.1.1 ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE

La atenuación es un fenómeno que se presenta en los sistemas de comunicación y consiste básicamente en la pérdida de potencia de la señal entre el transmisor y el receptor. Por lo tanto, es necesario analizar el comportamiento de la onda electromagnética la cual parte de una antena y se irradia en el espacio libre.

La atenuación en el espacio libre, consiste básicamente en la disminución que sufre la señal emitida, al viajar una gran distancia, en una región sin obstáculos. Si la antena transmisora emite una señal con cierta potencia esta señal se va a distribuir sobre un área muy grande, resultando que en la antena receptora llegará una señal, con una fracción de la potencia emitida ya que la atenuación de la señal es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Este tipo de atenuación es el que tiene los valores más altos en un enlace de onda corta.

En la figura II.1.1, se muestra la forma en que una antena transmisora emite energía. Se observa que esta energía al irradiarse se dispersa formando frentes de onda esféricos para puntos cercanos al emisor, mientras que para puntos lejanos los frentes de onda se vuelven casi planos. De acuerdo con esto hay una disminución en la cantidad total de potencia en cada unidad de área (densidad de potencia) en el frente de onda.

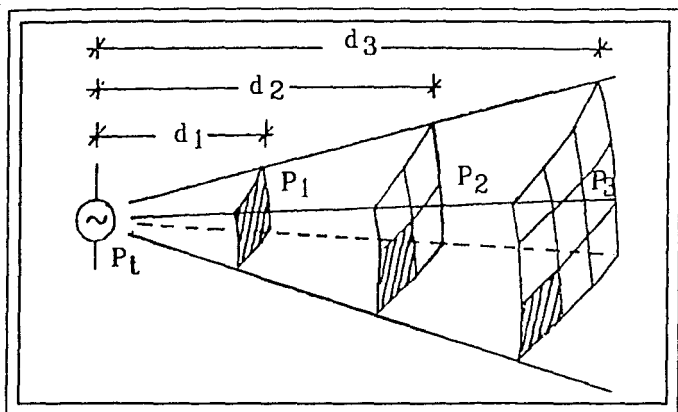


Figura II.1.1

$$P_o = P_t / (4\pi d^2) \quad (\text{II.1.1})$$

Donde:

P_o = Densidad de potencia

P_t = Potencia de transmisión

Por lo tanto:

$$P_t / (4\pi d_1^2) > P_t / (4\pi d_2^2) > P_t / (4\pi d_3^2)$$

De acuerdo con la figura II.1.1 tenemos que:

$$d_1 < d_2 < d_3$$

Un sistema de comunicaciones está formado por un transmisor, el medio de propagación y por el receptor. La densidad de potencia decrece con el inverso del cuadrado de la distancia. Si se colocan dos antenas de iguales características en los puntos transmisor y receptor, se notará una pérdida de energía en la trayectoria de propagación.

La atenuación se define como la relación de la potencia transmitida a la potencia recibida y se designa con la letra griega α

Por lo tanto:

$$\alpha = P_t / P_r \quad (\text{II.1.2})$$

La atenuación se expresa en decibeles (dB) debido a que las cantidades para su cálculo se hacen muy grandes para la trayectoria dada, entonces :

$$\alpha_{dB} = 10 \log P_t / P_r \quad (\text{II.1.3})$$

Cálculos de la atenuación:

d = Distancia unitaria (referencia)

P_{r1} = Potencia recibida a la distancia unitaria

P_t = Potencia de transmisión

α_{dB1} = Atenuación a la distancia unitaria

Entonces, para distancias múltiples de "d" tendremos:

$$d: \quad \alpha_{dB1} = 10 \log P_t / P_{r1}$$

$$2d: \quad \alpha_{dB2} = 10 \log P_t / P_{r2} = 10 \log P_t / (1/4 P_{r1}) = \\ = 10 \log (4 P_t / P_{r1}) = \alpha_{dB1} + 6.021$$

$$3d: \quad \alpha_{dB3} = 10 \log 9 + 10 \log P_t / P_{r1} = \\ = \alpha_{dB1} + 9.542$$

$$\begin{aligned} 4d: \quad \alpha_{dB4} &= 10 \log 16 + 10 \log P_t / P_{r1} = \\ &= \alpha_{dB1} + 12.041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5d: \quad \alpha_{dB5} &= 10 \log 25 + 10 \log P_t / P_{r1} = \\ &= \alpha_{dB1} + 13.979 \end{aligned}$$

Debido a que la atenuación en el espacio libre es importante, vamos a deducir una ecuación para obtenerla: El área efectiva (A_{ef}) de una antena, es la relación de la potencia disponible en las terminales de la antena (P_r) a la potencia por unidad de área de la onda incidente polarizada apropiadamente, esto es una medida de la cantidad de potencia que una antena receptora puede captar de un frente de onda.

$$A_{ef} = P_r / P_o \quad (II.1.4)$$

P_r = Potencia recibida

P_o = Potencia por unidad de área

Considérese primero un circuito de radio el cual consiste de una antena transmisora isotrópica y una antena receptora con una área efectiva (A_r). Como una antena isotrópica tiene la misma intensidad de radiación

en todas direcciones, la densidad de potencia a una distancia "d" esta dada por la ecuación II.1.1.

Si sustituimos la ecuación II.1.1 en la ecuación II.1.4, tenemos:

$$A_r = P_r / [P_t / (4\pi d^2)]$$

por lo tanto:

$$P_r / P_t = A_r / (4\pi d^2) \quad (II.1.5)$$

A esta ecuación se le conoce como relación de transmisión. Si la antena transmisora isotrópica es reemplazada por una antena cuya área efectiva es A_t , la potencia que se reciba es incrementada por la relación A_t / A_{iso} , y la expresión para el espacio libre es:

$$P_r / P_t = [A_r / (4\pi d^2)] (A_t / A_{iso}) = (A_r A_t) / (4\pi d^2) A_{iso}$$

$$A_{iso} = \lambda^2 / 4\pi \quad (II.1.6)$$

$$\begin{aligned}
 P_r / P_t &= [A_r / (4\pi d^2)] [A_t / (\lambda^2 / 4\pi)] = \\
 &= (A_r A_t) / (d^2 \lambda^2) \qquad \qquad \qquad (II.1.7)
 \end{aligned}$$

Esta ecuación nos da la atenuación de la trayectoria entre antenas isotrópicas y sustituyendo las antenas receptoras y transmisoras por su equivalente, nos queda:

$$\begin{aligned}
 (P_t / P_r)_{iso} &= (d^2 \lambda^2) / (A_r A_t) = (d^2 \lambda^2) / (\lambda^2 / 4\pi) (\lambda^2 / 4\pi) = \\
 &= (4\pi d / \lambda)^2 \qquad \qquad \qquad (II.1.8)
 \end{aligned}$$

Para obtener una relación práctica, es necesario expresar la atenuación del espacio libre en decibeles.

$$\alpha_{dB} = 10 \log (P_t / P_r)_{iso} = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2$$

que resulta:

$$\alpha_{dB} = 20 \log 4\pi d / \lambda = 20 \log 4\pi d - 20 \log \lambda$$

$$\alpha_{dB} = 20 \log 4\pi + 20 \log d - 20 \log \lambda \qquad (II.1.9)$$

Si consideramos que la frecuencia la tenemos en MHz, y la distancia en Km, y usamos la relación $C = \lambda f$

Donde:

$$C := 3 \times 10^5 \text{ Km / seg} \quad (\text{II.1.10})$$

La longitud de onda es:

$$\lambda = 0.3 / f \quad (\text{II.1.11})$$

Por lo que la ecuación de la atenuación se convierte en:

$$\alpha_{dB} = 20 \log 4\pi + 20 \log d - 20 \log (0.3 / f)$$

$$\alpha_{dB} = 20 \log 4\pi + 20 \log d - 20 \log 0.3 + 20 \log f$$

Para obtener una expresión conteniendo solamente "f" y "d", se tiene que :

$$20 \log 4\pi = 21.98$$

$$20 \log 0.3 = -10.45$$

$$\alpha_{dB} = 32.44 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) \quad (\text{II.1.12})$$

Esta ecuación nos da la atenuación que sufre la señal en el espacio libre. Los valores típicos están entre los 100 y 160 dB.

II.1.2 ATENUACION EN LA IONOSFERA

La onda de cielo en su trayectoria por la ionósfera sufre pérdidas de energía.

A estas pérdidas se les conoce como absorción. La absorción de las ondas de radio se debe básicamente a que la onda de cielo cede energía a los electrones que están en la ionósfera los cuales a su vez chocan con partículas neutras que rebotan en cualquier dirección y como consecuencia de esto se llevan parte de la energía de la onda. La absorción de la onda depende de la concentración de electrones y de las colisiones entre partículas.

La onda de cielo cede parte de su energía a la atmósfera ionizada de tal manera que resulta progresivamente absorbida. Por lo tanto, la absorción es mayor cuando el grado de ionización se incrementa.

La absorción que se presenta en las capas E y F es muy pequeña debido a que la frecuencia de colisión en estas capas es reducida.

En la capa D es donde se presentan los valores más altos de atenuación y esto es debido a que la onda choca

constantemente con las partículas neutras del aire, las cuales se llevan parte de la energía.

La absorción en la capa D es máxima a medio día y disminuye rápidamente después de la puesta del Sol. Además de depender de la frecuencia y de la hora del día, la absorción de la onda de cielo esta sujeta a las estaciones del año y a la actividad Solar.

Realizar los cálculos matemáticos para conocer el nivel de absorción que esta presente en la capa D resulta muy problemático, ya que la absorción depende de distintas variables que están fluctuando durante las horas del día. Por lo tanto, para efectuar el cálculo de la atenuación que sufre la onda de cielo en su trayectoria por la ionósfera se utiliza el nomograma de la figura II.1.2. Al emplear este nomograma resulta más práctico y sencillo el cálculo de la absorción. La manera de usar este nomograma se detalla en el tema II.4.

Los valores típicos de la absorción que se presentan en la capa D están entre los 2 y 20 dB. Cuando se presenta una ionización excesiva producida por intensas radiaciones de rayos ultravioleta o rayos X provenientes del Sol la atenuación se incrementa considerablemente y puede alcanzar valores del orden de 100 dB para enlaces de más de 8 000 Km.

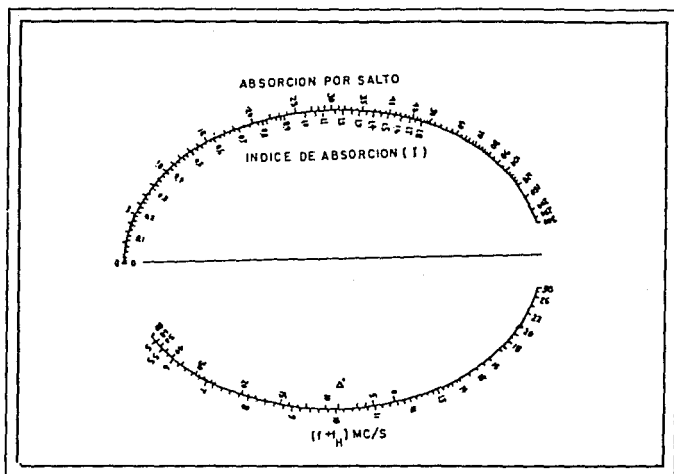


Figura II.1.2

II.1.3 REFLEXION EN UNA SUPERFICIE PLANA

REFLEXION

Cuando una onda electromagnética propagándose en un medio incide en otro medio que tiene distinta constante dieléctrica, permeabilidad y conductividad, la onda, en general será parcialmente transmitida y parcialmente reflejada. Un conductor perfecto es aquel que posee conductividad infinita, por lo que el campo eléctrico dentro del mismo es nulo. Cuando una onda electromagnética incide en el mismo toda la onda se refleja.

Para una superficie plana y pulida con conductividad finita la magnitud y la fase de la onda reflejada se pueden calcular haciendo una extensión del análisis para reflexión en la superficie de un dieléctrico perfecto. Cuando la superficie es irregular, la onda reflejada tiende a dispersarse y su efecto en el punto de recepción es menor que cuando se refleja sobre una superficie regular. Una medida de la regularidad o irregularidad de la superficie se basa en el criterio de Rayleigh, el cual está dado por:

$$r = (4\pi\sigma \text{ sen } \phi)/\lambda \quad (\text{II.1.13})$$

$\sigma =$ Es la desviación estandard de las irregularidades del terreno relativas a la altura promedio de la superficie

$\phi =$ Es el ángulo de incidencia el cual es medido desde la superficie de la tierra a la trayectoria del haz incidente

$\lambda =$ La longitud de onda de operación.

Para $r < 0.1$, la superficie se considera como irregular y la onda reflejada tiene una magnitud pequeña. Una superficie irregular, se puede considerar como plana cuando el ángulo de incidencia es muy pequeño. La super-

ficie terrestre, aunque no es un buen conductor comparado con el cobre o la plata que son buenos conductores, no es un dieléctrico perfecto y su conductividad se debe tomar en cuenta.

Las ecuaciones para una reflexión en un aislante perfecto con polarización perpendicular y polarización paralela se van a utilizar para encontrar el factor de reflexión.

POLARIZACION PERPENDICULAR (HORIZONTAL):

$$\frac{E_r}{E_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_1 - \sqrt{\epsilon_2 - \epsilon_1} \sin^2 \theta_1}{\sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_1 + \sqrt{\epsilon_2 - \epsilon_1} \sin^2 \theta_1} \quad (\text{II.1.14})$$

E_r = Intensidad del campo eléctrico reflejado

E_1 = Intensidad del campo eléctrico incidente

ϵ_1 = Permitividad en el medio 1

ϵ_2 = Permitividad en el medio 2

θ_1 = Angulo de incidencia

POLARIZACION PARALELA (VERTICAL)

$$\frac{E_r}{E_1} = \frac{(\epsilon_2/\epsilon_1) \cos \theta_1 - \sqrt{(\epsilon_2/\epsilon_1) - \sin^2 \theta_1}}{(\epsilon_2/\epsilon_1) \cos \theta_1 + \sqrt{(\epsilon_2/\epsilon_1) - \sin^2 \theta_1}} \quad (\text{II.1.15})$$

Factor de reflexión para una polarización perpendicular (horizontal). El factor de reflexión (R_h), para una onda plana con una polarización horizontal o perpendicular se obtiene directamente de la ecuación II.1.14:

$$R_h = \frac{E_r}{E_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_v} \cos \theta - \sqrt{(\epsilon + \sigma/j\omega) - \epsilon_v \sin^2 \theta}}{\sqrt{\epsilon_v} \cos \theta + \sqrt{(\epsilon + \sigma/j\omega) - \epsilon_v \sin^2 \theta}} \quad (\text{II.1.16})$$

Cuando uno de los dos medios es el aire, ϵ_1 se sustituye por ϵ_v que es la constante dieléctrica del espacio libre.

La constante dieléctrica del segundo medio que es la superficie de la tierra se va a sustituir por la constante dieléctrica compleja:

$$\epsilon + \sigma/(j\omega) \quad (II.1.17)$$

Θ es el ángulo de incidencia medido desde la normal a la superficie reflectora hasta la dirección del haz incidente. Al tratar con reflexiones en la superficie de la tierra, es muy común expresar la dirección de la onda incidente en términos del ángulo Ψ el cual se mide desde la superficie de la tierra hasta el haz incidente. De acuerdo a la figura II.1.3.

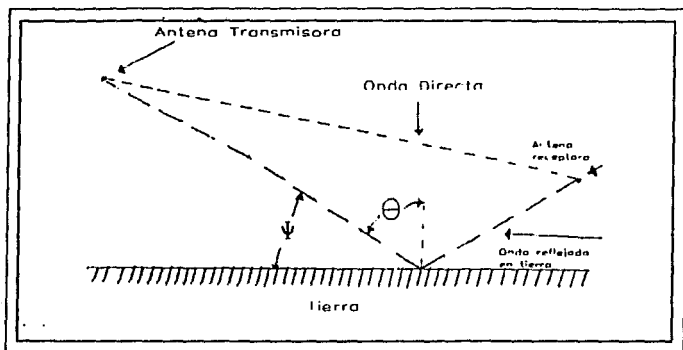


Figura II.1.3

Al dividir la ecuación II.1.16 entre $(\epsilon_v)^{1/2}$ y sustituir:

$$\text{sen } \Theta = \text{cos } \Psi$$

$$R_h = \frac{\text{sen } \Psi - \sqrt{\epsilon / \epsilon_v - j\sigma / \omega \epsilon_v - \text{cos}^2 \Psi}}{\text{sen } \Psi + \sqrt{\epsilon / \epsilon_v - j\sigma / \omega \epsilon_v - \text{cos}^2 \Psi}}$$

(II.1.18)

Es costumbre representar a la constante dieléctrica de la superficie en cuestión como función de la constante

dieléctrica del espacio libre, por medio de la constante ϵ_r , en donde:

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_v \quad (\text{II.1.19})$$

La forma final de la expresión para el factor de reflexión para una onda plana con polarización horizontal es:

$$R_h = \frac{\text{sen}\Psi - \sqrt{\epsilon_r - j\sigma/w\epsilon_v - \cos^2\Psi}}{\text{sen}\Psi + \sqrt{\epsilon_r - j\sigma/w\epsilon_v - \cos^2\Psi}} \quad (\text{II.1.20})$$

$$\epsilon_v = 1 / (36\pi \times 10^9) \quad (\text{II.1.21})$$

$$x = \sigma / (\omega \epsilon) = \sigma / [2 \pi f \{1 / (36 \pi \times 10^9)\}] \quad (\text{II.1.22})$$

x = factor de disipación.

El factor de disipación es una relación que involucra las características del medio así como la frecuencia de la onda. Por lo tanto, nos indica que un medio presenta distintas características dependiendo de la frecuencia que se maneje.

En la figura II.1.4, se muestra la magnitud y fase del coeficiente de reflexión de una onda plana de polarización horizontal. Las curvas son para la tierra con una buena conductividad ($\sigma = 12 \times 10^{-3}$, $\epsilon_1 = 15$), pero pueden usarse para tener resultados aproximados con otras tierras y frecuencias calculando el valor aproximado de:

$$x = 18 \times 10^3 \sigma / f \text{MHz} \quad (\text{II.1.23})$$

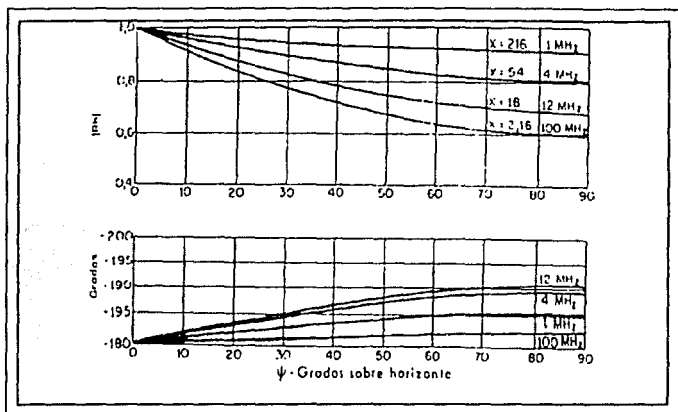


Figura II.1.4

FACTOR DE REFLEXION PARA UNA POLARIZACION PARALELA (VERTICAL)

De un modo semejante al anterior, se obtiene el factor de reflexión para una polarización paralela o vertical de la ecuación II.1.15. Es decir:

$$R_V = \frac{(\epsilon_r - j\sigma/w\epsilon_v)\sin\psi - \sqrt{\epsilon_r - j\sigma/w\epsilon_v - \cos^2\psi}}{(\epsilon_r - j\sigma/w\epsilon_v)\sin\psi + \sqrt{\epsilon_r - j\sigma/w\epsilon_v - \cos^2\psi}} \quad (\text{II.1.24})$$

$$x = \sigma/(w\epsilon_v) = 18 \times 10^3 \sigma / f_{\text{MHz}} \quad (\text{II.1.25})$$

En la figura II.1.5, se muestra la magnitud y fase del coeficiente de reflexión para polarización vertical.

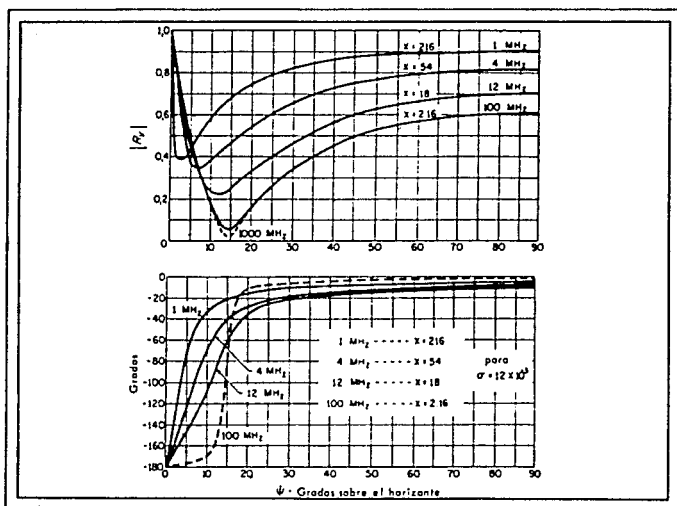


Figura II.1.5

La figura II.1.6, muestra el factor de reflexión de la tierra para polarización vertical y horizontal.

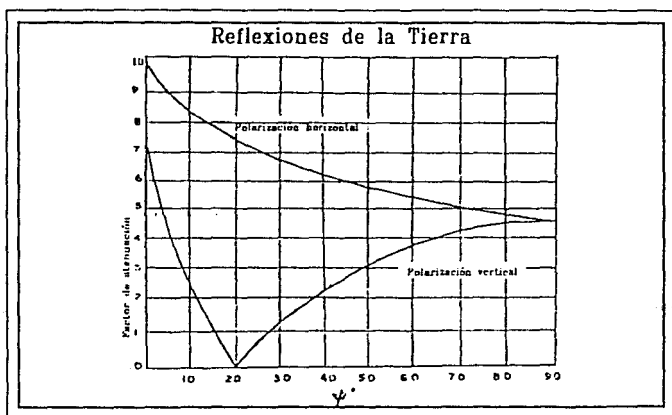


Figura II.1.6

II.1.4 REFLEXION EN LA IONOSFERA

La reflexión de las ondas radioeléctricas en la ionósfera está en función de la frecuencia. Cuando existe una variación pequeña en la velocidad de fase, significa que hay una pequeña variación en la densidad electrónica. La velocidad de fase de la onda en un medio con pérdidas pequeñas es:

$$v_p = 1 / (\mu\epsilon)^{1/2} = c / (\mu_r\epsilon_r)^{1/2} \quad (\text{II.1.26})$$

c = velocidad de la luz

Suponiendo que la permeabilidad de la ionósfera no cambie por la presencia de los electrones y $\mu_r = 1$

$$v_p = c / (\epsilon_r)^{1/2} \quad (\text{II.1.27})$$

En todo punto de la trayectoria el ángulo ϕ , viene dada por la ley de Snell de la refracción

$$\text{sen } \phi_1 = n \text{ sen } \phi \quad (\text{II.1.28})$$

$$\text{sen } \phi = \text{sen } \phi_1/n \quad (\text{II.1.29})$$

Esto se muestra en la figura II.1.7

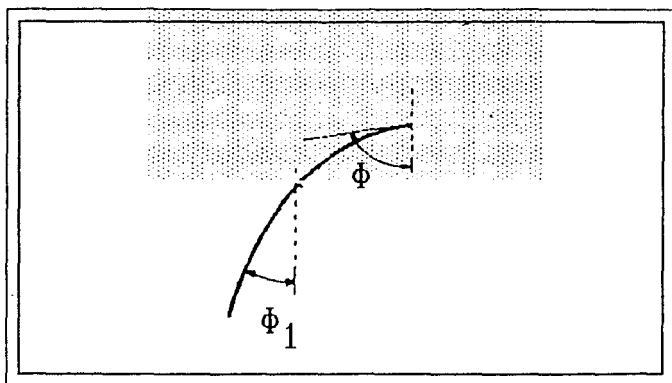


Figura II.1.7

Donde n es el índice de refracción en el punto en el que se observa ϕ y ϕ_1 es el ángulo de incidencia. El índice de refracción en cualquier medio es:

$$n = \frac{\text{Velocidad de la luz en el vacío}}{\text{Velocidad de la fase en el medio}} = \frac{c}{v_p} \quad (\text{II.1.30})$$

En el caso de que no hubiera pérdidas en la ecuación II.1.27 la ecuación II.1.30 nos da el índice de refracción :

$$n = (\epsilon_r)^{1/2} \quad (\text{II.1.31})$$

En la capa E, la frecuencia de colisión es pequeña y su conductividad es muy baja, por lo tanto, se pueden desprestigiar los efectos de la conductividad y la permeabilidad. La permitividad se puede expresar de la siguiente manera:

$$\epsilon_r = 1 - (N e^2) / (\epsilon_v M w^2) \quad (\text{II.1.32})$$

$$e = 1.59 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$$

$$M = 9 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$\epsilon_v = 8.85 \times 10^{-12} \text{ coulomb}^2/\text{New m}^2$$

N = número de electrones por metro cúbico

$$w = 2 \pi f$$

Realizando las operaciones obtenemos lo siguiente:

$$\epsilon_r = 1 - \frac{N(1.59 \times 10^{-19})^2}{(8.85 \times 10^{-12})(2\pi f)^2(9 \times 10^{-31})}$$

$$\epsilon_r = 1 - 81 N / f^2 \quad (\text{II.1.33})$$

N = Número de electrones por metro cúbico

f = Frecuencia en Hertz

De la ecuación II.1.36, el índice de refracción es:

$$n = [1 - (81 N / f^2)]^{1/2} \quad (\text{II.1.34})$$

Cuando la onda electromagnética penetra en regiones de mayor densidad electrónica el índice de refracción disminuye y el ángulo de reflexión crece análogamente. Cuando n disminuye, hasta que $n = \sin \phi_1$ el ángulo de reflexión ϕ será de 90° y la onda electromagnética viaja

horizontalmente. El punto más alto que alcanza esta onda, es aquel en el cual la densidad electrónica N satisface la siguiente ecuación:

$$\text{sen } \phi_1 = [1 - (81 N / f^2)]^{1/2} \quad (\text{II.1.35})$$

$$1 - \text{sen}^2 \phi_1 = (81 N) / f^2$$

Donde:

$$\cos^2 \phi_1 = 1 - \text{sen}^2 \phi_1$$

$$\cos^2 \phi_1 = (81 N / f^2)$$

$$N = (f^2 \cos^2 \phi_1) / 81 \quad (\text{II.1.36})$$

Si la densidad electrónica en un nivel de la capa es suficientemente grande para satisfacer la ecuación II.1.36, la onda será reflejada. Si la máxima densidad electrónica en una capa es inferior a la ecuación II.1.36, la onda seguirá penetrando la capa. La mayor densidad electrónica para que exista reflexión, es cuando el ángulo de incidencia ϕ_1 es cero, para una incidencia vertical. La

mayor frecuencia para una capa que se refleja con una incidencia vertical es:

$$f_c = (81 N_{Máx})^{1/2} \quad (\text{II.1.37})$$

Ver figura I.1.3.

$N_{Máx}$ = Densidad de ionización (electrón por metro cúbico)

f_c = Frecuencia crítica de la capa.

II.2 ANALISIS DE RUIDO EN LA IONOSFERA

II.2.1 RUIDO ATMOSFERICO

II.2.2 RUIDO TERMICO

II.2.3 RUIDO INDUSTRIAL

II.2.4 RUIDO COSMICO

II.2.5 RUIDO EN LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA

El objetivo en los sistemas de radio enlace es la recuperación del mensaje enviado, y en esta parte tenemos una limitación importante, haciendo a un lado las pérdidas y alteraciones que sufre la señal en su trayecto por el medio de transmisión, la señal queda mezclada con ruido radioeléctrico, por lo que no se puede recuperar el mensaje de cualquier señal. Es decir, si la señal no tiene un nivel determinado sobre el ruido, el mensaje será irreconocible. El ruido radioeléctrico se define como una perturbación eléctrica que tiende a interferir con la recepción normal de la señal transmitida. En el receptor se detecta el ruido mezclado con la señal y en ocasiones propicia que la señal no pueda recuperarse por completo. El ruido radioeléctrico puede estar formado por señales procedentes de diversas fuentes:

- ruido atmosférico (generado en la atmósfera).
- ruido térmico (generado por el movimiento de electrones).
- ruido industrial (generado por el hombre).
- ruido cósmico (generado en el espacio).
- ruido en los componentes de un sistema.

El ruido radioeléctrico tiene muchas fuentes que lo generan, en cambio el mensaje solo cuenta con la estación

transmisora para ser generado, para empezar el análisis debemos de partir de que la señal debe de superar al ruido en su potencia en la estación receptora para que el mensaje se reconozca. Para esto se ha desarrollado el concepto de relación señal a ruido.

Relación señal a ruido (SNR)

En un ancho de banda específico, la relación señal a ruido se define como la razón entre la potencia de la señal y la potencia de ruido.

$$\text{SNR} = \frac{P_s}{P_n} \approx \frac{V_s^2}{V_n^2} \quad (\text{II.2.1})$$

donde V_s y V_n son voltajes de señal y de ruido respectivamente.

Si se expresan en decibeles queda como:

$$\text{SNR}(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n} \quad (\text{II.2.2})$$

$$\text{SNR}(\text{dB}) = 20 \log_{10} \frac{V_s}{V_n}$$

Mientras mayor sea la SNR, menor será la afectación de la señal por el ruido. El valor mínimo permisible de la SNR depende de la aplicación. Algunos valores mínimos aproximados son los siguientes: 10 dB en la entrada del detector para un receptor AM; 12 dB en la del detector de un receptor FM; 40 dB en la entrada del detector de una aparato de televisión y para el caso específico de radiotelefonía este valor es de 48 dB de acuerdo con la tabla II.2.1.

Radiotelephony and composite emission classes. Summary of technical data

Emission class	A3E (Broadcasting)	R3E	H3E
Message source	Broadcasting studio	Radiotelephony terminal	Radiotelephony terminal
Band occupation ¹⁾			
Keying rate (bauds)	—	—	—
Frequency shift D (Hz)	—	—	—
Bandwidth B_n (Hz) (Eqns 3.1 to 3.12)	8000 to 20000	3000	3000 upper sideband
Permissible frequency error f_{De} ¹⁾ (Hz) (Eqns 3.1 to 3.12)	± 0.5	± 0.5	± 0.5
Signal-to-noise ratio LF, dB/bandwidth B_n HF, dB Hz^{-1} (Table 3.4)	≥ 26 dB ≥ 69 dB	6 to 33 44 to 72	6 to 33 51 to 75

¹⁾ Without automatic frequency control

²⁾ Arrangement of the speech and teletype channels with B7W as example

Tabla II.2.1

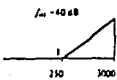
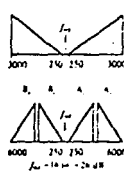
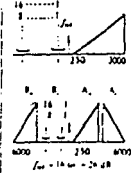
J3E	B5E	B7W ²¹
Radiotelephony terminal	Radiotelephony exchange (commercial)	Radio exchange Telephony WTK 170 or WTK 340
	<p>Channel B, Channel A</p> 	<p>Channel B, Channel A</p> 
—	—	50 to 200
—	—	±42.5 (WTK 170) ±35 (WTK 340)
3000 upper sideband	±3000 ±6000 upper and lower sideband	±3000 ±6000 upper and lower sideband
±0.5	±0.5	±0.5 U ₁₁ ± 2 Hz
6 to 33	6 to 33	6 to 33 for speech channels
4X to 72	511 to 74	60 to 8X for telegraphy channels

Tabla II.2.1 (continuación)

Por otra parte cuando la señal pasa por elementos en cascada, la SNR decrece pues cada elemento añade ruido.

Uno de los objetivos en diseño de sistemas de comunicación es conservar la relación señal a ruido adecuada al tipo de servicio proporcionado. Las técnicas para lograrlo comprenden:

a) Uso de transmisores potentes y antenas direccionales de alta ganancia para obtener señales fuertes en el receptor.

b) Circuitos bien diseñados que introduzcan una cantidad mínima de ruido adicional al procesar las señales.

c) Utilizar métodos de modulación o codificación que faciliten la detección de señales respecto al ruido.

d) En el caso de fuentes de ruido artificial (hecho por el hombre) existe la opción de suprimir el ruido en su origen con filtros, rediseño, etc.

En los cálculos de la potencia mínima de transmisión considerando los efectos de ruido radioeléctrico se desea conocer:

La potencia mínima de la señal que se necesita en el receptor para reconocer el mensaje.

-La relación señal a ruido mínima para reconocer la señal del ruido.

-La potencia total del ruido en la estación receptora.

-La potencia de la señal en el transmisor.

Por lo anterior es importante determinar la magnitud del ruido radioeléctrico lo más exactamente posible. Una característica común de la mayoría de los tipos de ruido es su naturaleza no determinística; es decir, no se puede predecir la forma de onda del ruido.

El CCIR propone una potencia media de ruido a fin de establecer una referencia para todas las fuentes de ruido que también permita la comparación de la intensidad del mismo.

Esta potencia de ruido se expresa por un factor llamado "factor de ruido efectivo de antena" f_a .

$$f_a = \frac{p_n}{KT_{ob}} = \frac{T_a}{T_o} \quad (\text{II.2.3})$$

donde:

p_n : es la potencia de ruido en Watts.

K : es la constante de Boltzman 1.38×10^{-23} Joules/Kelvin.

T_0 : es la temperatura de referencia, en este caso 288K (15° C).

b : es el ruido efectivo en el ancho de banda del receptor en Hz.

T_a : es la temperatura efectiva en la antena en grados Kelvin en presencia de ruido radioeléctrico.

Si el factor de ruido efectivo de antena f_a es conocido, la potencia de ruido recibida esta dada por:

$$p_n = f_a k T_0 b$$

$$10 \log p_n = 10 \log (f_a k T_0 b)$$

$$P_n = F_a + kT_0 + B \quad (\text{II.2.4})$$

donde:

$$F_a = 10 \log f_a$$

$$B = 10 \log b$$

$$10 \log kT_0 = 10 \log k(288) = -204 \text{ dB}_w$$

Por lo tanto la potencia de ruido recibida queda expresada por:

$$P_n = F_a + B - 204 \text{ dB}_w \quad (\text{II.2.5})$$

La potencia mínima de la señal en el receptor P_e es la potencia de ruido más un factor que en este caso es la razón señal a ruido SNR según la clase de emisión.

$$P_e = P_n + P_s/P_n = P_n + \text{SNR} \quad (\text{II.2.6})$$

Substituyendo II.2.5 en II.2.6 tenemos:

$$P_e = F_a + B + \text{SNR} - 204 \text{ dB}_w \quad (\text{II.2.7})$$

A continuación se verán las fuentes generadoras de los diferentes tipos de ruido que están contenidos en el factor de ruido efectivo de antena, f_a .

II.2.1 RUIDO ATMOSFERICO.

Las causas principales de ruido atmosférico son las descargas electrostáticas en la atmósfera debido a: Tormentas, fuertes lluvias, nevadas y tormentas de arena. La intensidad de estos disturbios varía mucho sobre la superficie de la Tierra. El ruido atmosférico es la fuente principal de ruido en las latitudes templadas y ecuatoriales durante la mayor parte del año. En las latitudes mayores de los Hemisferios Norte y Sur se puede observar ruido atmosférico aunque no haya tormentas. También existe una dependencia diurna y estacional. Por lo que, en general, la interferencia debida a ruido atmosférico es menor en invierno que en los meses de verano, porque en verano ocurren descargas estáticas más frecuentemente. La interferencia es mayor durante las horas de la noche que durante el día, porque el ruido que emana de las descargas estáticas permanece predominantemente en las frecuencias de la parte más baja de la banda utilizable para transmisiones de radio.

Dentro de la zona ecuatorial hay tres centros principales que tienen una actividad excepcionalmente alta de tormentas y pueden ser considerados como medios poderosos de ruido atmosférico. Comprenden grandes extensiones geográficas dentro del cinturón Tropical $\pm 20^{\circ}$ alrededor del Ecuador. Ver figura II.2.1.

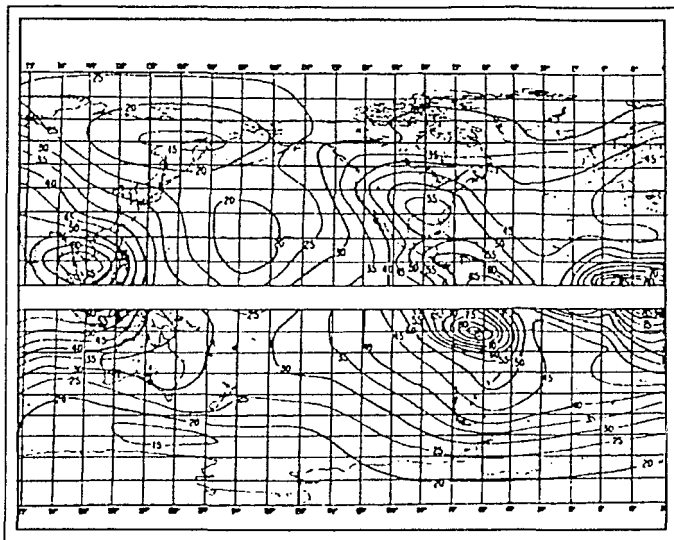


Figura II.2.1

El ruido atmosférico real en un lugar depende de las tormentas locales y de las características de propagación de las ondas entre tal punto y los principales centros de ruido ya que estos hacen llegar señales de ruido desde focos distantes.

El reporte 322 del CCIR maneja la distribución mundial de ruido atmosférico en cartas mensuales, un ejemplo de estas cartas se puede ver en la figura.

Valores de ruido atmosférico se ven en las figuras II.2.3 - II.2.6 en función de la frecuencia de operación,

hora del día y estación del año. De estas figuras se obtiene el factor F_{am} (valor medio de f_a en dB) con sus posibles variaciones σF_{am} . En las mismas figuras se puede ver una comparación entre los diferentes tipos de ruido.

II.2.2 RUIDO TERMICO

El ruido térmico es una componente de corriente alterna, debido al movimiento aleatorio de los electrones, por lo que en un tiempo determinado la distribución de las cargas puede no ser uniforme y entonces aparecerá una diferencia de voltaje en las terminales del elemento. El ruido térmico se presenta en todos los medios de transmisión y en todos los equipos de comunicación. Se caracteriza por la distribución uniforme (Gaussiana) de energía sobre el espectro de frecuencias.

En un sistema de comunicación, cada elemento del equipo y el mismo medio de transmisión contribuyen al ruido térmico si la temperatura del elemento o del medio está arriba del cero absoluto (0 K). El ruido térmico es el factor que fija el límite inferior de sensibilidad de un sistema de recepción y se expresa frecuentemente en unidades de temperatura, por lo general, grados con referencia al cero absoluto (grados Kelvin). Cualquier cuerpo con temperatura mayor que cero absoluto (0 K) emite energía.

El ruido térmico es directamente proporcional al ancho de banda y a la temperatura. Está considerado

dentro del factor visto anteriormente. El ruido térmico también se conoce como:

- Ruido de Johnson.
- Agitación térmica.
- Ruido de resistencia.

II.2.3 RUIDO INDUSTRIAL.

Este ruido es generado en fuentes artificiales, es decir, este tipo de ruido es causado por instalaciones eléctricas e industriales (ruido hecho por el hombre), estas fuentes incluyen líneas de alto voltaje, equipo de encendido en vehículos de motor y máquinas eléctricas. Los valores de este ruido (considerados en F_{am}) se pueden apreciar en la figura II.2.2 que muestran los valores para diferentes áreas de recepción en función de la frecuencia de operación.

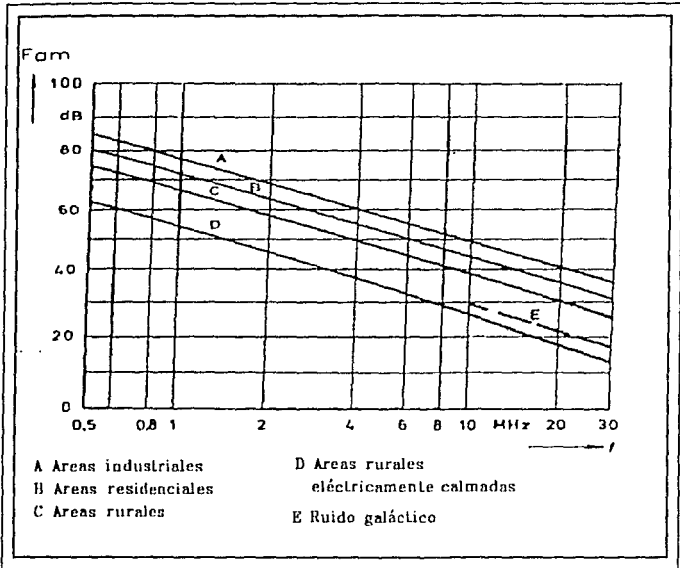


Figura II.2.2

Se aprecia que el ruido industrial va a estar determinado principalmente por la ubicación de la estación receptora (zona industrial, residencial, rural, etc.). Como se observa las zonas industriales son las que presentan el nivel de ruido más alto, seguidas por las zonas residenciales hasta llegar a las zonas rurales eléctricamente calmadas, donde se presenta el caso que al llegar a frecuencias de 10 MHz el ruido predominante es el ruido cósmico.

II.2.4 RUIDO COSMICO.

Es el ruido generado en el Sol, las estrellas y demás elementos que componen el espacio exterior a la atmósfera. Este tipo de ruido tiene poca importancia en comparación con los demás ruidos pero en onda corta su influencia empieza de los 10 MHz en adelante afectando más a las frecuencias mayores. A este tipo de ruido también se le conoce como ruido galáctico. Ver figura II.2.2.

En la figura se pueden apreciar valores de este ruido (considerados en F_{am}) en función de la frecuencia.

II.2.5 RUIDO EN LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA.

Este tipo de ruido es generado por diferentes fuentes dentro de los circuitos del sistema de comunicaciones, el cual puede ser reducido debido a que se origina dentro del sistema.

Tenemos tres tipos principales de ruido generado dentro de los circuitos electrónicos que son:

Ruido de Intermodulación.

Ruido Impulsivo.

Ruido de Disparo.

Ruido de Intermodulación: En los elementos de un circuito por los que pasan varias señales simultáneamente, hay productos de intermodulación. Las causas del ruido de intermodulación pueden ser varias:

-Ajustes inadecuados del nivel. Si el nivel de entrada a un elemento es muy alto, el dispositivo operará en su región no lineal (sobre-excitación).

-Alineación impropia que ocasiona que el dispositivo no funcione linealmente.

-Retardo de envolvente no lineal.

Ruido Impulsivo: El ruido impulsivo consiste de picos cortos de energía en el tiempo, con espectro de frecuencia aproximadamente plano sobre el rango de frecuencias de interés. Este ruido es característico de las centrales de conmutación telefónicas debido precisamente al proceso de conmutación (usualmente empleando relevadores). El ser humano acepta con razonable tolerancia este tipo de ruido, siempre que esté debajo del nivel en el cual le ocasionaría un daño al oído. Sin embargo, en lo que se refiere a transmisión digital los receptores no pueden tolerar este ruido dado que no podrían distinguir entre los pulsos que deben ser detectados y los impulsos del ruido.

Ruido de Disparo: Existen componentes que están constituidos por distintos materiales con finalidad de alterar de alguna manera la señal, por ejemplo, amplificarla, rectificarla, recortarla, etc. En estos componentes la corriente, tiene que atravesar distintas secciones, y como el tiempo que tarda en cruzar cada electrón es aleatorio, se provoca una llegada no uniforme de los electrones que forman la señal, introduciendo entonces una señal parásita llamada ruido de disparo.

Por todo lo anterior se puede concluir que la potencia de ruido en cualquier lugar sobre la superficie de la Tierra depende de lo siguiente:

- a) Localización geográfica (latitud, longitud y altitud).
- b) Hora del día.
- c) Estación del año.
- d) Frecuencia de operación.
- e) Ancho de banda del receptor.
- f) Tipo de emisión empleada.
- g) Ubicación del receptor (urbana, industrial

y rural).

Para calcular la potencia mínima de transmisión considerando los efectos del ruido se determina:

- a) Potencia total de ruido en el receptor (P_n).
 - b) Potencia mínima de la señal en el receptor (P_e).
 - c) Potencia mínima de la señal en el transmisor (P_s).
- a) P_n de la ecuación II.2.5.

$$P_n = F_a + B - 204 \text{ dB}_w$$

De las figuras II.2.3 - II.2.6 se obtiene el valor F_{am} y sus posibles variaciones σF_{am} en función de la frecuencia de operación, hora del día y estación del año.

$$F_a = F_{am} + \sigma F_{am}$$

El valor de B es el ancho de banda utilizado (para radiotelefonía se recomienda 3 KHz de ancho de banda) en dB.

$$B = 10 \log b = 10 \log 3000 = 34.77 \text{ dB}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de potencia de ruido obtenemos el valor de ruido total en la estación receptora.

b) P_e de la ecuación II.2.7.

$$P_e = F_a + B + \text{SNR} - 204 \text{ dB}_w$$

Los valores de F_a y B son los mismos que se obtuvieron para la potencia de ruido. El valor de SNR se considera de acuerdo al tipo de emisión o servicio. De la tabla II.2.1 se obtiene que para radiotelefonía el valor está en el rango de 48 a 75 dB/Hz. Con esto obtenemos la potencia mínima en el receptor para tener un buen reconocimiento del mensaje.

c) P_s se obtiene de:

$$P_s = P_e + L_{\text{sist}}$$

La potencia de transmisión mínima esta en dB para tener el valor en Watts de la ecuación anterior.

$$P_s \text{ dB} = 10 \log p_s \text{ Watts}$$

$$p_s = 10^{\exp(P_s/10)} \text{ Watts}$$

p_s .- es la potencia mínima de transmisión en Watts para el reconocimiento del mensaje.

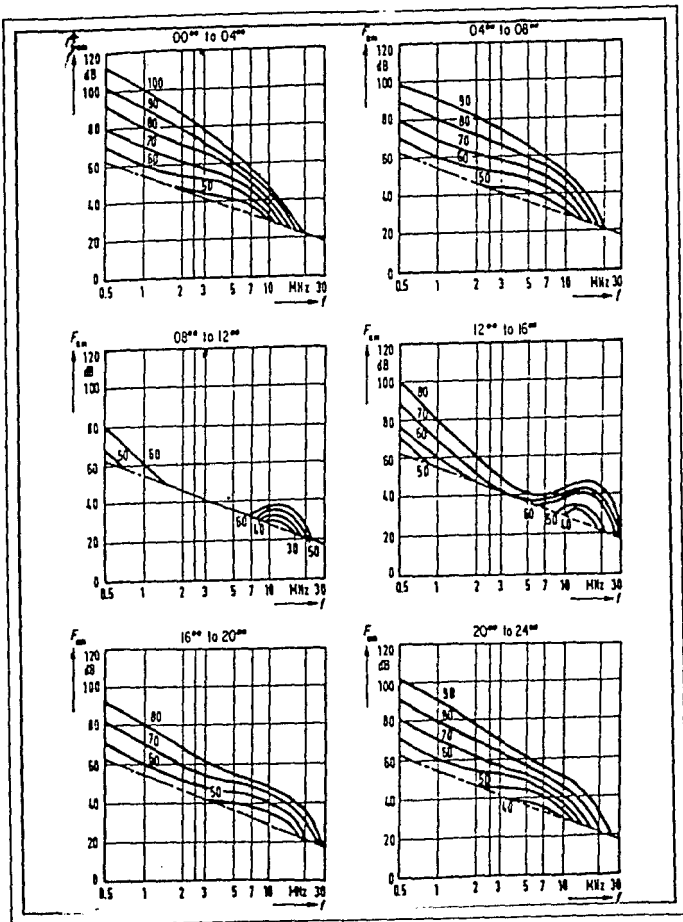


Figura II.2.3

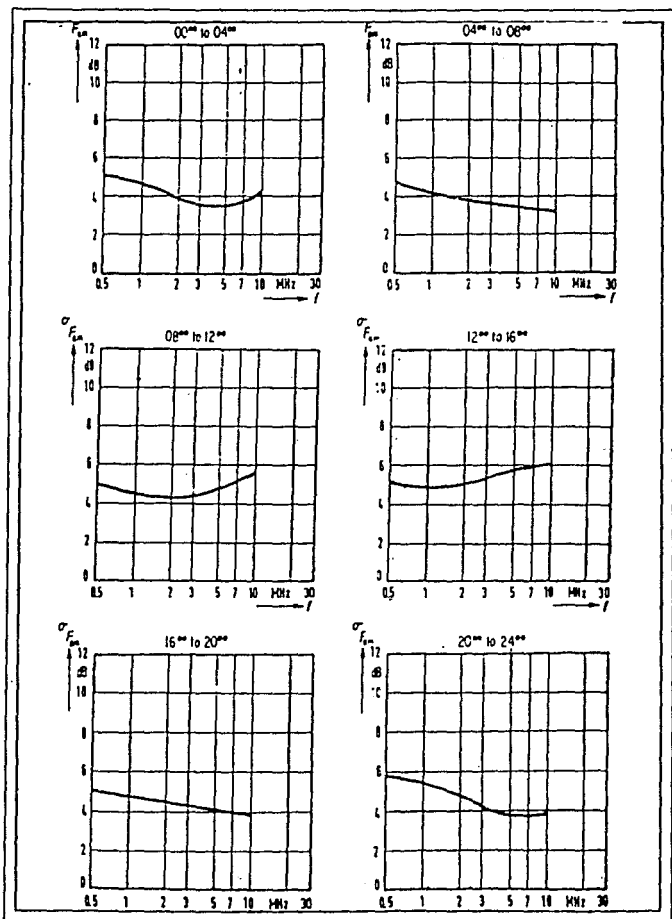


Figura II.2.4

II.3 PARAMETROS DE PROPAGACION

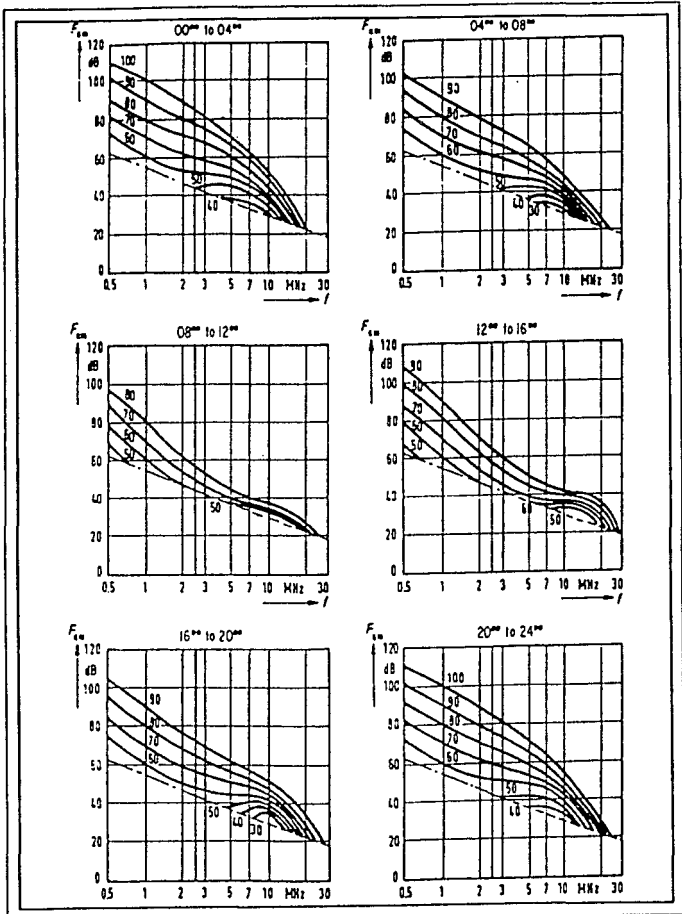


Figura II.2.5

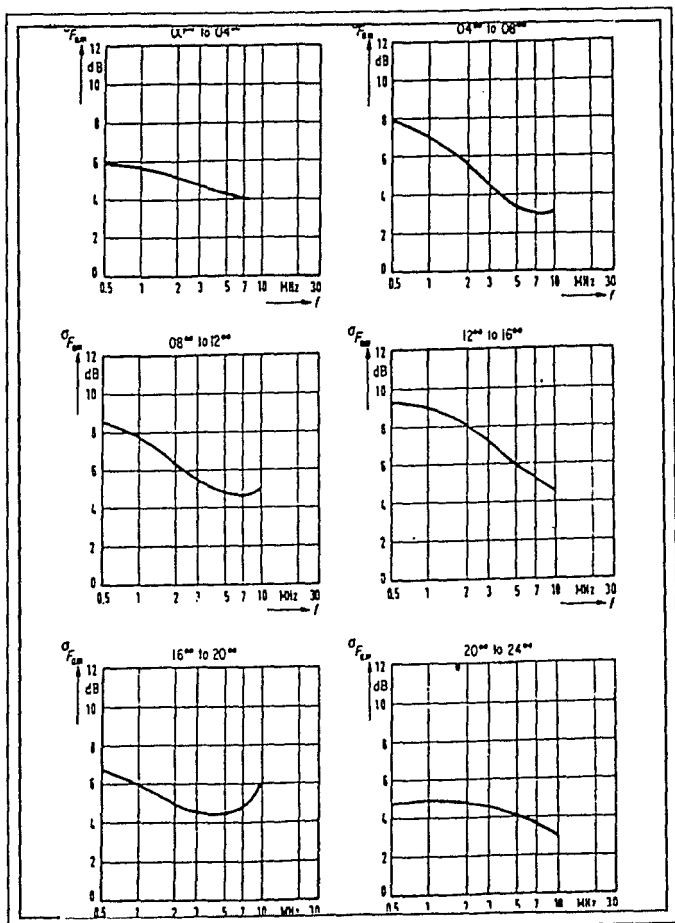


Figura II.2.6

II.3 PARAMETROS DE PROPAGACION

- II.3.1 DETERMINACION DE TRAYECTORIAS DE ONDA CORTA.**
- II.3.2 DISTANCIA Y DIRECCION DE LA TRAYECTORIA QUE UNE LAS ESTACIONES A ENLAZAR.**
- II.3.3 DETERMINACION DEL ANGULO DE RADIACION OPTIMO.**
- II.3.4 DETERMINACION DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA UTILIZABLES.**
- II.3.5 ONDA DE TIERRA.**

Cuando se diseña un enlace de onda corta, es difícil considerar todas las variables que intervienen en la propagación de una onda de radio. De modo que cuando se consideran las trayectorias y equipos a utilizar es conveniente determinar las mejores y peores condiciones de propagación. Se ha encontrado por experiencia que para el cálculo de la trayectoria de propagación lo adecuado es considerar períodos de medición de 24 horas en los siguientes meses:

Enero	máximo y mínimo número de manchas solares
Julio	máximo y mínimo número de manchas solares

II.3.1 DETERMINACION DE TRAYECTORIAS DE ONDA CORTA.

Para determinar una trayectoria de propagación se consideran los siguientes pasos:

a) Calcular la distancia entre los dos puntos terminales del enlace.

b) Determinar la dirección en la cual las antenas transmisoras y receptora serán colocadas.

c) Determinar los ángulos óptimos de elevación de las antenas transmisora y receptora de modo que originen un número mínimo de saltos a través de la ionósfera.

d) Determinar las bandas de frecuencia utilizables, se debe emplear como base la propagación a través de las capas E ó F2. De tal forma que para un enlace de salto único se emplee la longitud de la trayectoria de propagación y para enlaces de saltos múltiples la distancia que puede ser cubierta en un salto, de acuerdo con el inciso c).

e) Calcular la intensidad de campo alcanzada en el receptor ó la atenuación del trayecto; se emplean en este cálculo los ángulos de elevación y las bandas de frecuencias utilizables para una potencia transmisora de 1 Kw y una antena transmisora de 0 dB de ganancia (valor normalizado).

f) Determinar la potencia del transmisor y la ganancia que requiere la antena para operar y tener una relación señal a ruido apropiada al tipo de emisión.

g) Determinar la disponibilidad de la trayectoria; este punto cobra una prioridad especialmente alta, si por ejemplo, por restricciones de instalación, la potencia del transmisor y ganancia de la antena no pueden ser logrados, de acuerdo con los cálculos para operación permanente.

En el caso particular de enlaces que requieren solamente un salto a través de la ionósfera, o aquellos que operan en direcciones paralelas a los meridianos y por lo tanto no cubren diferentes horas del día, las intensidades de campo máximas y mínimas alcanzables pueden ser estimadas calculando los valores a las 12 y 24 horas.

II.3.2 DISTANCIA Y DIRECCION DE LA TRAYECTORIA QUE UNE LAS ESTACIONES A ENLAZAR

Puede considerarse que la onda radiada por la antena se propaga a lo largo de la trayectoria que une las estaciones a enlazar. Por lo tanto es necesario, particularmente con enlaces punto a punto sobre largas distancias, determinar con la mayor precisión posible la longitud de la trayectoria de propagación y la dirección de emisión.

Con antenas direccionales de alta ganancia una desviación en la dirección de solo algunos grados puede

provocar una reducción substancial de la intensidad de campo en el punto receptor.

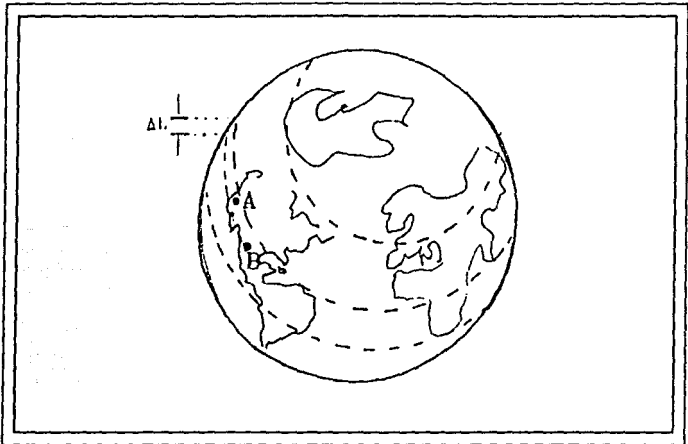


Figura II.3.1

La distancia entre los dos puntos terminales de un radio enlace de onda corta de acuerdo a la figura II.3.1 está determinada por la ecuación:

$$\cos D = \operatorname{sen} A \operatorname{sen} B + \cos A \cos B \cos \Delta L \quad (\text{II.3.1})$$

donde:

D es el ángulo del arco de la trayectoria entre las estaciones A y B medido en grados.

A es la latitud de la estación transmisora "A".

B es la latitud de la estación receptora "B".

ΔL es la diferencia de longitud entre las estaciones A y B.

Para las estaciones en el hemisferio Norte las latitudes están dadas con signo positivo y para aquellas en el hemisferio Sur con signo negativo.

La dirección de la estación "A" a la estación "B" está dada por:

$$\text{sen } C_{A-B} = \frac{\cos B \text{sen } \Delta L}{\text{sen } D} \quad (\text{II.3.2})$$

y para la dirección de "B" hacia "A" por:

$$\text{sen } C_{B-A} = \frac{\cos A \text{sen } \Delta L}{\text{sen } D} \quad (\text{II.3.3})$$

Para obtener la distancia se considera que cada grado del compás internacional equivale a 111.1 Km. De modo que la distancia en kilómetros se obtiene multiplicando el ángulo D, según la ecuación II.3.4.

$$D_{\text{km}} = \frac{\text{DIAMETRO DE LA TIERRA}}{360^{\circ}}$$

$$D_{\text{km}} = (40,000/360^{\circ}) D = 111 \text{ km } D \quad (\text{II.3.4})$$

La dirección de la radiación, C, está dada de acuerdo con la escala del compás internacional, la cual está graduada de 0° a 360° . Así 0° y 360° son en dirección Norte, 90° en dirección Este, 180° en dirección Sur y 270° en dirección Oeste.

II.3.3 DETERMINACION DEL ANGULO DE RADIA-CION OPTIMO

Si en un enlace de onda corta la atenuación de la trayectoria es lo más baja posible y la intensidad de campo en el punto receptor es lo más alta posible, implica que la trayectoria es cubierta con un número mínimo de saltos a través de la ionósfera, esto equivale a que los factores críticos que contribuyen a atenuar la señal como son penetraciones de la capa D y las reflexiones en la tierra sean reducidos. El ángulo de elevación (ángulo de radiación), medido con respecto al plano de la tierra, es función

de la altura de la antena medida en longitudes de onda de la frecuencia de operación. La distancia a ser cubierta depende de la altura de la capa ionosférica reflectora. La altura de la capa E puede ser considerada prácticamente constante a 110 Km, la altura de la capa F2 varía con las horas del día y la estación del año. Las figuras II.3.2 son diagramas que muestran las alturas virtuales $h'F_2$ en Km para los meses de Enero y Julio ambos para las 24 horas del día. Estas alturas serán usadas como base para los cálculos.

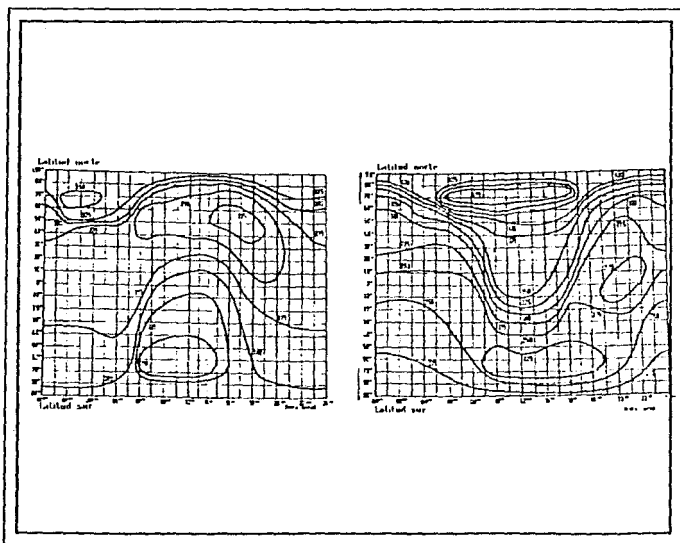


Figura II.3.2

La figura II.3.3 muestra el ángulo de elevación como una función de la longitud de la trayectoria, de una a diez reflexiones en la capa F2 y de uno a tres saltos a través de la capa E, referidos a una altura promedio de la capa F2, $h'_{m} F2 = 320 \text{ Km}$ y una altura de la capa E de 110 Km sobre la Tierra. Esta figura es lo suficientemente representativa para trayectorias de onda corta.

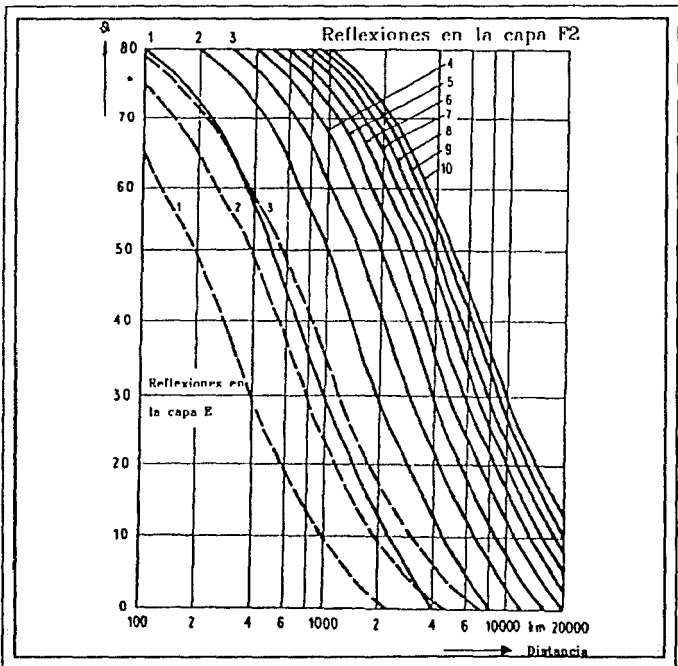


Figura II.3.3

Para enlaces de larga distancia se usan ángulos de elevación muy pequeños. El requisito de ángulo de elevación bajo también puede ser obtenido si las antenas transmisoras son dispuestas sobre terrenos con pendiente descendente en dirección de la radiación. El ángulo de elevación es disminuido por el grado de inclinación del terreno. En la figura II.3.4 los ángulos de elevación de una antena son mostrados para terrenos horizontales y con pendiente descendente.

A fin de lograr con exactitud la elevación del ángulo de radiación requerido para un enlace de onda corta se necesita que el sitio para la instalación de la antena cumpla ciertas condiciones. Así de acuerdo con lo anterior, el terreno debe ser lo más plano posible en dirección de la radiación, a partir de la antena hasta el punto de reflexión P sobre la Tierra. La altura h de las irregularidades no debe exceder de:

$$h = h_A / 4 \quad (\text{II.3.5})$$

Donde h_A es la altura de la antena sobre la Tierra medida en metros.

La distancia d_P (desde la antena hasta el punto de reflexión sobre la Tierra) depende de la longitud de onda, de la frecuencia utilizada y el ángulo de elevación.

$$d_P = \frac{\lambda}{4 \operatorname{sen} \vartheta \tan \vartheta} \quad (\text{II.3.6})$$

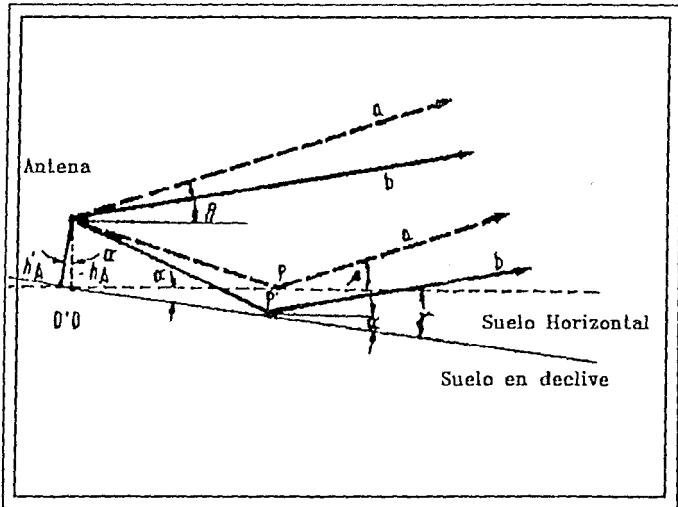


Figura II.3.4

Distancias calculadas usando la ec. II.3.6 son mostradas en la figura II.3.5 para frecuencias de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 MHz.

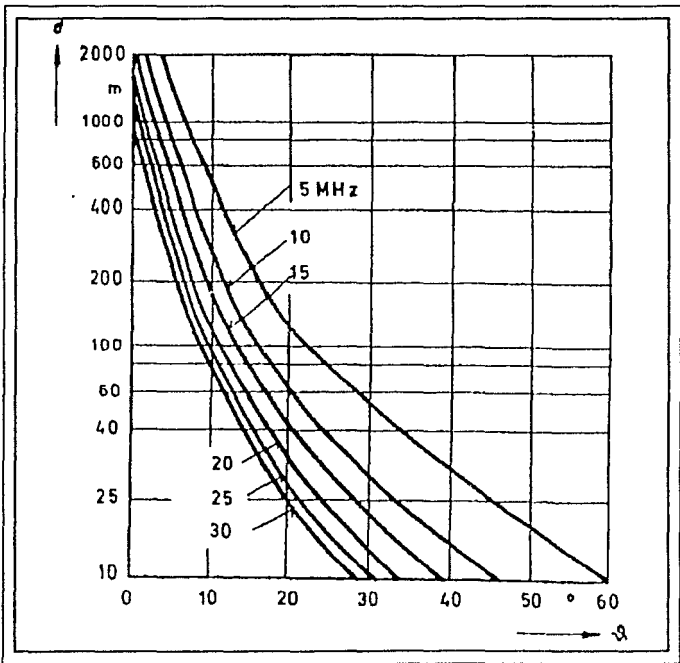


Figura II.3.5

II.3.4 DETERMINACION DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA UTILIZABLES.

A fin de mantener enlaces de onda corta a lo largo de un determinado período de tiempo se requiere de múltiples frecuencias, las cuales deben ser cambiadas de acuerdo con las condiciones de propagación prevalecientes. Las frecuencias que proporcionan buenas condiciones

de transmisión durante las horas del día son poco efectivas durante la noche.

Frecuencias con buenas condiciones de operación durante los meses de verano no siempre proporcionan el servicio durante los meses de invierno, por otro lado las condiciones de propagación también varían con el número de manchas solares. Para tomar en cuenta todas las variables importantes para transmisiones de onda corta se determinan las curvas límites de frecuencias para los meses de Enero y Julio para propagaciones a través de las capas E y F2 y para períodos de máxima y mínima actividad solar.

Estas curvas representan las variaciones sobre un período de 24 horas para las frecuencias que apenas son reflejadas por las capas E y F. Cuatro juegos de curvas límite de frecuencia son en consecuencia obtenidas para una trayectoria, con éstas se podrán establecer las frecuencias máxima y mínima de operación utilizables para la mayoría de los casos. El incremento en la frecuencia límite que ocurre debido a la presencia de la capa E esporádica "Es" no se considera en este trabajo debido a que no ha sido posible predecir su aparición y duración con exactitud. Las frecuencias límite designadas como "Standard MUF" (máxima frecuencia utilizable) serán designadas para utilizar términos más distintivos con respecto a varias MUF'S como E_{JF} (conjunto de frecuencias estimadas). La confiabilidad de la emisión puede ser deteriorada por las fluctuaciones permanentes en las

condiciones de propagación, especialmente en períodos durante los cuales la frecuencia de operación seleccionada coincide con la E_{JF}. Para evitar esto en cuanto sea posible, consideramos a la frecuencia óptima de trabajo (FOT), en lugar de la E_{JF} como el límite más alto de frecuencia de operación útil, aplicando la siguiente relación:

$$FOT = 0.85 E_{JF} \quad (II.3.7)$$

Para determinar la curva límite de frecuencia para un enlace de onda corta específico se consideran los siguientes puntos:

a) Determinación de la frecuencia E_{JF} (0) para las capas E y F₂. Estas son las frecuencias que apenas son reflejadas con incidencia vertical en la ionósfera en un punto y momento dado. El ángulo de incidencia Φ es por lo tanto de 0° y el ángulo de elevación de las radiaciones $\varphi = 90^\circ$. La frecuencia E_{JF} (0) representa el valor medio, con respecto al cual la f_c crítica varía de acuerdo con las condiciones de propagación prevaletientes.

b) Determinación de la frecuencia E_{JF}(2 000) para la capa E y la E_{JF}(4 000) para la capa F₂. A estas frecuencias con radiación tangencial $\vartheta = 0^\circ$ y alturas de las capas $h'E = 110$ Km. y $h'm F_2 = 320$ Km., pueden ser cubiertas distancias de 2 000 y 4 000 Km. como se muestra en la figura II.3.3.

Los valores E_{JF}(d)E y E_{JF}(d)F₂ aplicados en un instante dado a una trayectoria definida de longitud "d", son obtenidos por interpolación de los valores calculados en a) y b).

Los mapas para el cálculo de cualquier E_{JF}(d)F₂ están dados para números de manchas solares de $R_{12} = 0$ y $R_{12} = 100$, los cuales representan valores estandar de manchas solares máximas y mínimas.

Para otro número de manchas solares empleamos:

$$E_{JF}(0)F_2 = E_{JF}(0)F_{20} + 0.01[E_{JF}(0)F_{2100} - E_{JF}(0)F_{20}]R_{12} \quad (II.3.8)$$

y:

$$E_{JF}(4000)F_2 = E_{JF}(4000)F_2 + 0.01[E_{JF}(4000)F_{2100} - E_{JF}(4000)F_{20}]R_{12} \quad (II.3.9)$$

Los subíndices 0 y 100 indican valores de frecuencia que pueden ser leídos de las series de mapas para números de manchas solares $R_{12} = 0$ y $R_{12} = 100$. La $EJF(d)F_2$ para una trayectoria de radio de longitud d Km. obtenida con otro número de manchas solares se determina por la interpolación de estos valores, considerando la dependencia lineal de R_{12} . El comportamiento de la capa E es de gran importancia para la determinación de las bandas de operación útiles, la atenuación de la trayectoria y la intensidad de campo en el punto receptor.

Puede suceder que durante las horas del día y particularmente al medio día, la $EJF(d)E$ exceda a la $EJF(d)F_2$, o que la frecuencia de operación seleccionada caiga debajo de la $EJF(d)E$ por algunas horas. La capa E es entonces el factor decisivo para la transmisión, ésta determina el número de saltos y el ángulo de elevación de la señal. Sin embargo debido a la poca altura de la capa E, el número de saltos será mayor que con propagación a través de la capa F2 para longitudes de trayectorias que sobrepasen 1 000 Km. Debido a la más frecuente penetración en la capa D, debe hacerse el cálculo de trayectoria con una atenuación mayor y baja intensidad de campo cuando la capa E es más activa.

A fin de llevar a cabo la determinación necesaria de las bandas de frecuencia de operación útiles para enlaces de onda corta se emplean los mapas para los meses de Enero y Julio de las figuras, II.3.6 a,b,c,d y II.3.7 a,b,c,d así como los nomogramas para determinar por interpola-

ción la E_{JF}(2000)E figura II.3.8, la E_{JF}(d)E figura II.3.9 y la E_{JF}(d)F₂ figura II.3.10 de acuerdo con el reporte 340 de CCIR.

Al determinar los datos geográficos para una trayectoria se utilizan los mapas de la figura II.3.11. Hacemos notar que las figuras II.3.12 y II.3.13 (variación diaria del ángulo cenital del sol), emplean tiempo local mientras que las series de figuras II.3.6 y II.3.7 emplean tiempo universal coordinado referido al meridiano cero. Este hecho debe ser tomado en cuenta particularmente cuando la actividad de las capas E y F₂ son consideradas para trayectorias de gran longitud.

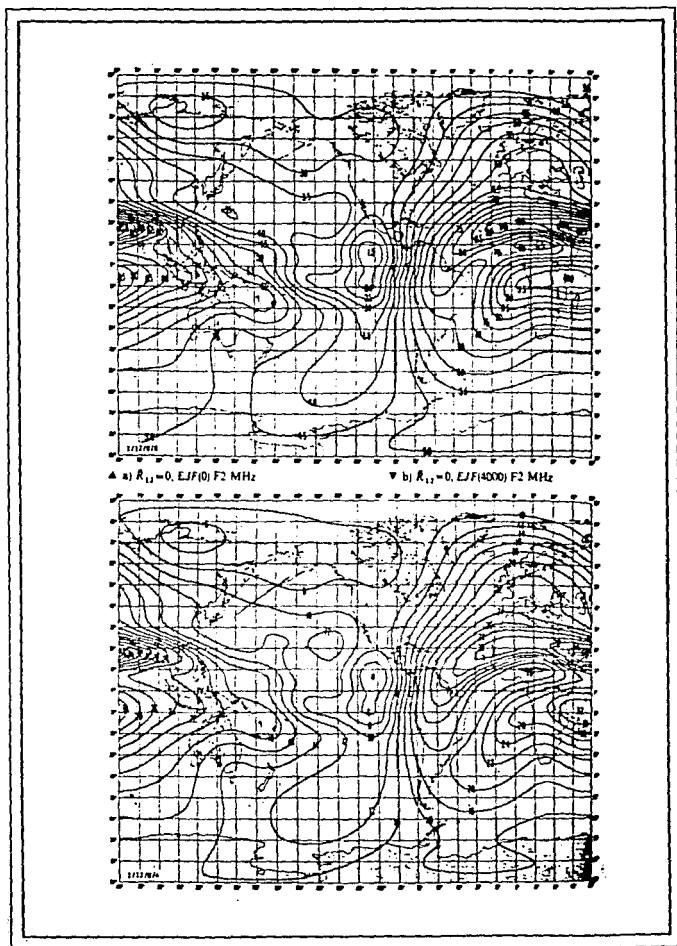


Figura II.3.6a y b

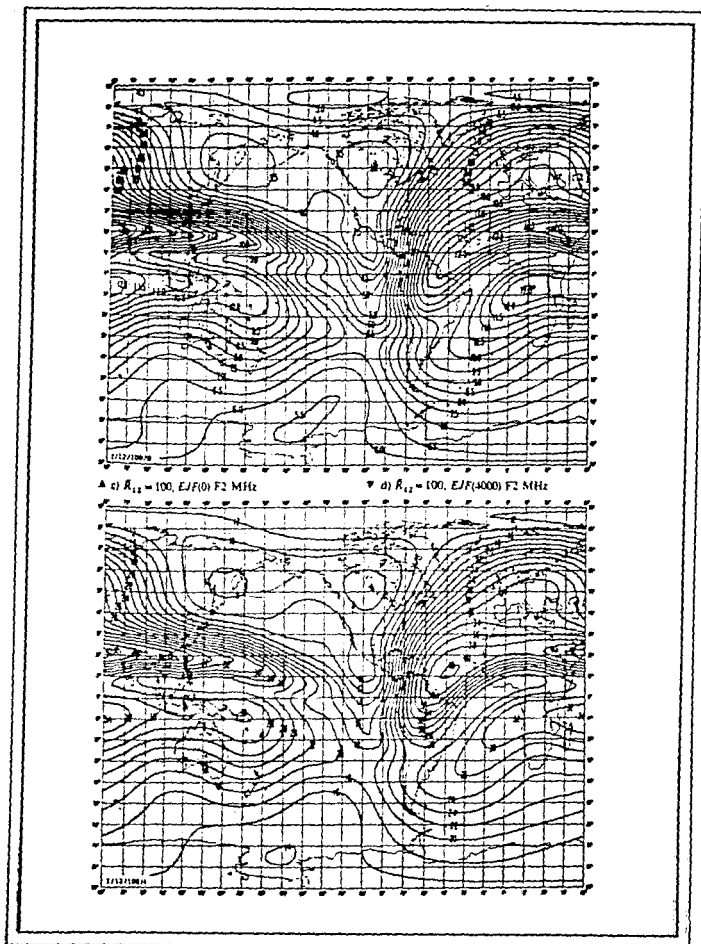


Figura II.3.6c y d

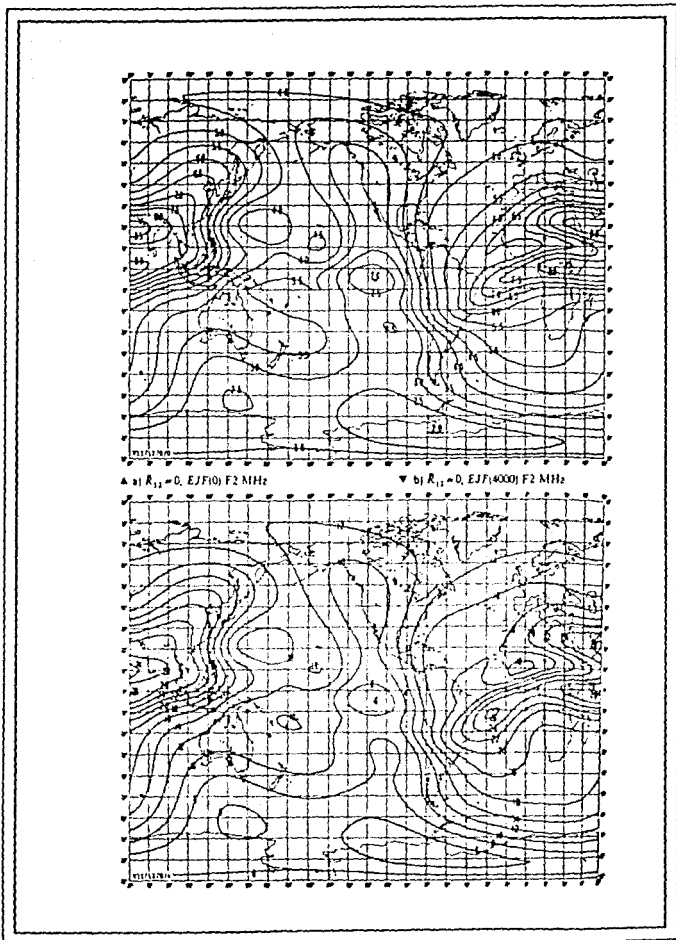


Figura II.3.7a y b

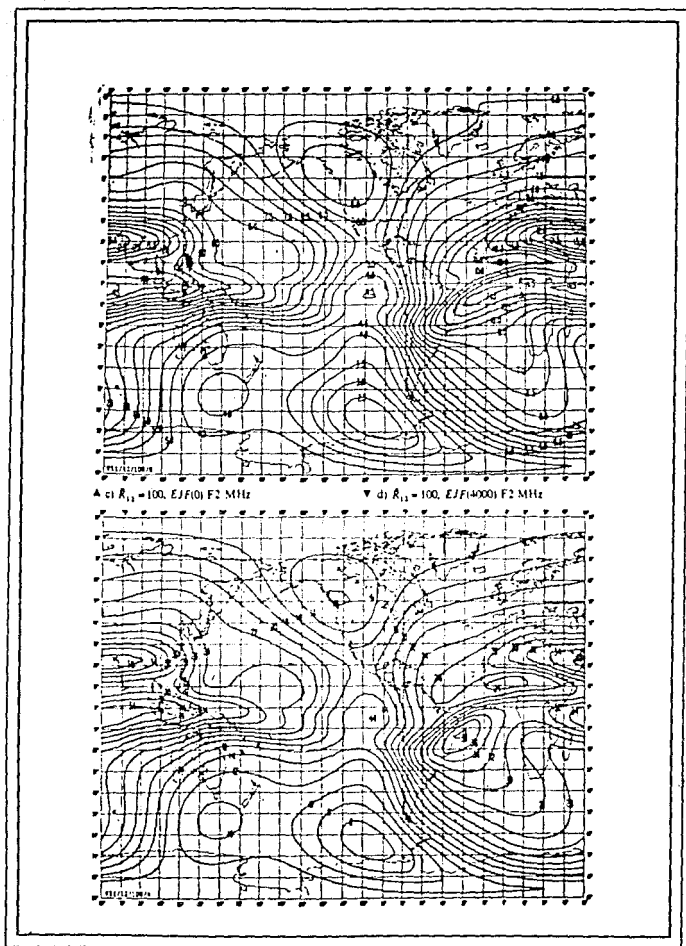


Figura II.37cy d

II.3 PARAMETROS DE PROPAGACION

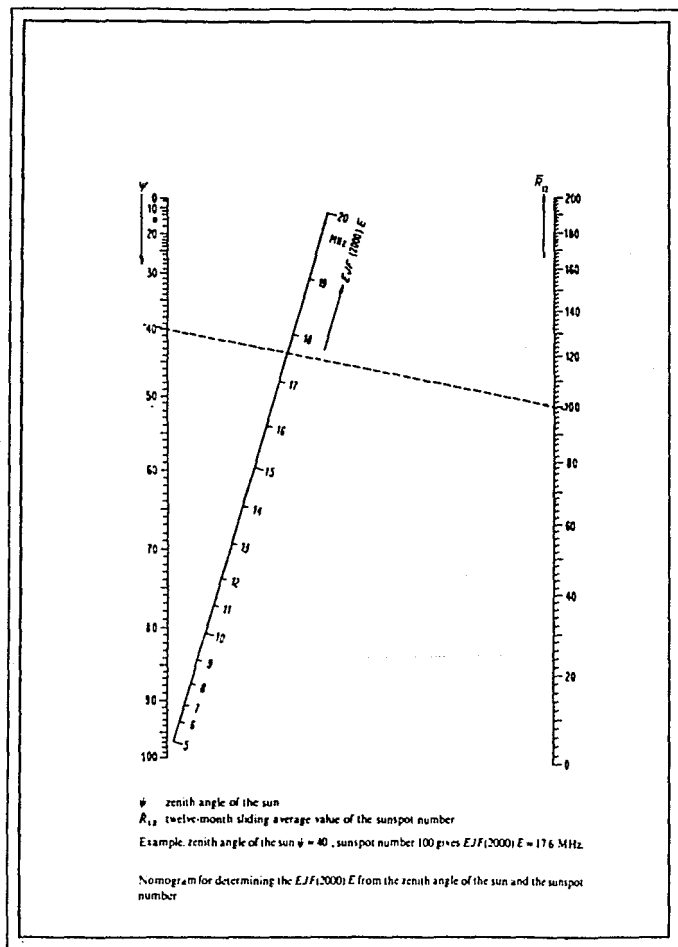


Figura II.3.8

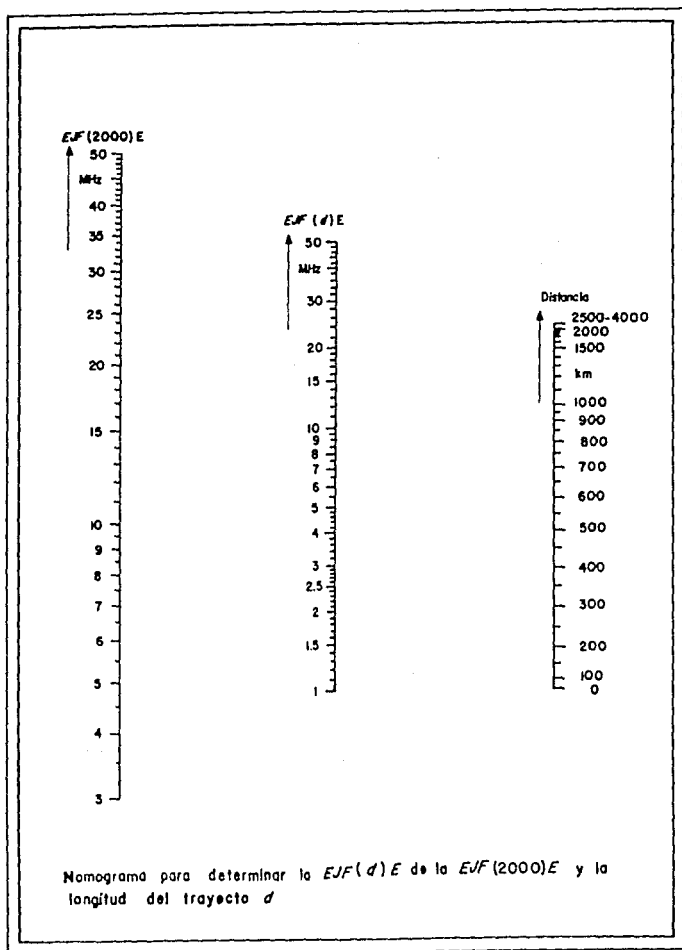


Figura II.3.9

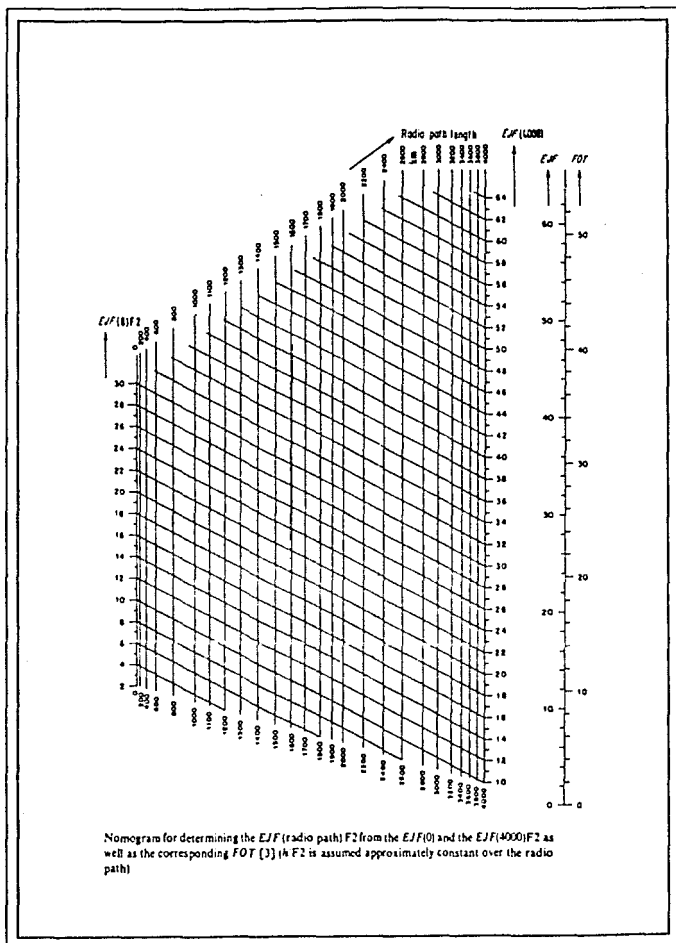


Figura II.3.10

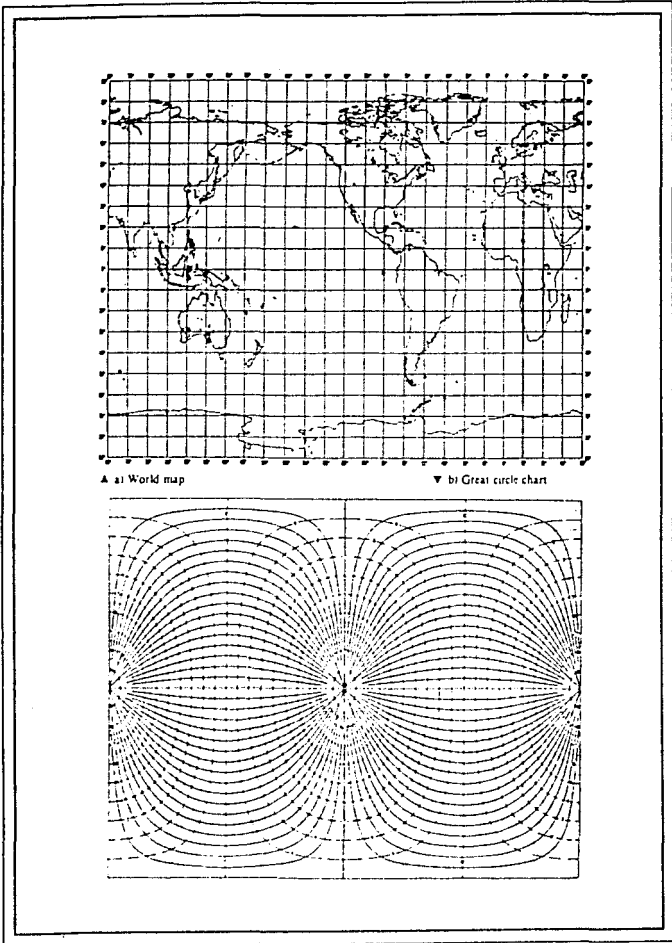
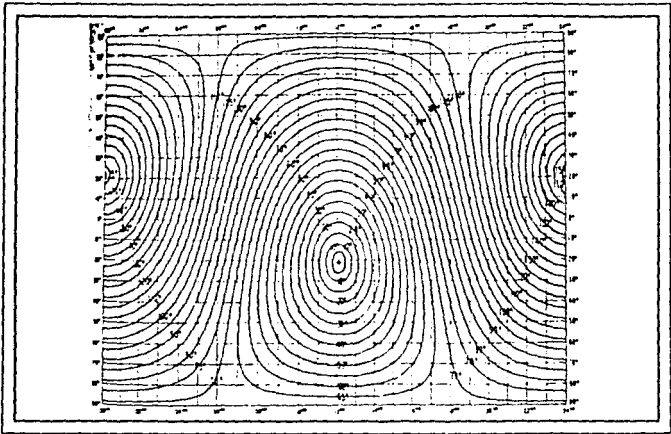


Figura 11.3.11



▲ a) January

Figura II.3.12

▼ b) July

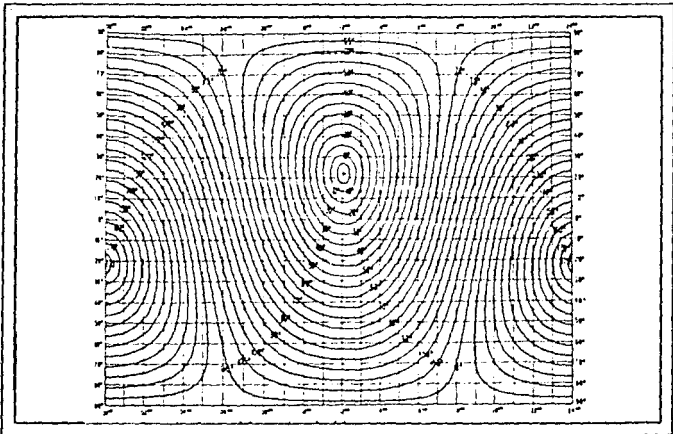


Figura II.3.12

II.3.5 ONDA DE TIERRA

Trayectoria de Onda Corta con Propagación por Onda de Tierra.

La onda corta se propaga también por onda de Tierra a lo largo de la superficie terrestre. Sin embargo los mejores resultados se obtienen cuando se utiliza la parte baja de la banda de HF (1.6 - 5 MHz).

La propagación depende de las propiedades de la superficie de la tierra como son su conductividad y la constante dieléctrica. También la distancia de propagación es afectada en su trayectoria por el clima, la vegetación, y la orografía del terreno.

La propagación por la onda de tierra es independiente de la hora del día y de las estaciones del año. El cambio de frecuencias de operación es necesario para mantener un buen enlace cuando se usa la onda de cielo, situación que no sucede cuando se usa onda de tierra.

Propagación de la Onda de Tierra Sobre Terrenos Homogéneos.

En radiotelefonía los valores de frecuencia considerados se mantienen prácticamente constantes a no ser que las condiciones del terreno cambien debido a otros factores. La humedad de la tierra juega un papel esencial, como se ve en la tabla II.3.1 tiene una marcada influencia

en las características eléctricas del terreno; conforme la humedad aumenta, los valores mejoran.

Tabla II.3.1

Tipo de terreno	Conductividad $\sigma(\text{Mhos } \text{M}^{-1})$	Constante dieléctrica ϵ
Océano	4	80
Agua dulce	3×10^{-3}	80
Tierra húmeda	10^{-2}	30
Tierra semi-húmeda	10^{-3}	15
Tierra seca	10^{-4}	4
Tierra muy seca	$10^{-5} - 3 \times 10^{-5}$	4

Estos tipos de terreno se aplican en las siguientes áreas:

Océano	Todos los mares
Agua dulce	Grandes lagos, ríos, esteros, etc
Tierra húmeda	Terrenos con gran contenido de agua (nivel freático alto)
Tierra semi-húmeda	Sembradío, bosques, países en zonas templadas
Tierra seca	Costas arenosas, estepas y regiones árticas
Tierra muy seca	Desierto, regiones industriales, ciudades, zonas altas

Los valores dados en la tabla II.3.1 suponen que es homogénea la estructura geológica del terreno. La profundidad de penetración de la onda de tierra en el terreno varía según el tipo de terreno y la frecuencia. La tabla II.3.2 muestra este efecto de la onda de tierra según el tipo de terreno de la tabla II.3.1.

Tabla II.3.2

Tipo de terreno	Penetración en metros a varias frecuencias			
	0.5 MHz	1 MHz	5 MHz	10 MHz
océano	0.35	0.25	0.1	0.075
Agua dulce	18	15	12	8.5
Tierra húmeda	7	5.5	3.8	1.5
Tierra semi-húmeda	28	23	18	16
Tierra seca	90	90	90	90

A excepción de la emisión de radiotelefonía sobre los océanos, con todos los otros tipos de terreno se tienen mayores variaciones en las condiciones de propagación debido a cambios meteorológicos. Para calcular adecuadamente la trayectoria debemos considerar estos cambios en un período largo de tiempo, esto será en muchas ocasiones imposible de pronosticar por lo cual debemos de considerar los valores dados en las tablas II.3.1 y II.3.2 que son adecuadas para obtener la potencia de emisión y la ganancia en las antenas.

II.4. PERDIDAS.

II.4.1. PERDIDAS DEBIDAS A LA ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE.

II.4.2. PERDIDAS EN LA IONOSFERA.

II.4.3. PERDIDAS POR REFLEXION EN TIERRA.

II.4.4. SOBREDIMENSIONAMIENTO CONTRA DESVANECIMIENTO.

Si un enlace de onda corta es considerado como un sistema de transmisión, empezando con la salida de este y terminando en la entrada del receptor, el total de pérdidas L_{sist} . puede ser obtenido como la suma de las siguientes pérdidas individuales:

$$L_{\text{sist}} = L_{\text{Fr}} + L_{\text{I}} + L_{\text{B}} + Y_{\text{F}} - (G_{\text{T}} + G_{\text{R}}) \text{ (en dB)} \quad (\text{II.4.1.})$$

donde:

L_{Fr} .- son las pérdidas por atenuación en el espacio libre entre las antenas transmisora y receptora.

L_{I} .- son las pérdidas en la ionósfera por absorción.

L_{B} .- son las pérdidas por reflexión en tierra (con trayectorias de saltos múltiples).

Y_{F} .- es el sobredimensionamiento contra desvanecimiento.

G_{T} .- es la ganancia de la antena transmisora.

G_{R} .- es la ganancia de la antena receptora.

II.4.1. PERDIDAS DEBIDAS A LA ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE (LFR).

Como se vió anteriormente si una frecuencia de onda corta es emitida por una antena, la potencia radiada decrece con el cuadrado de la distancia desde la antena, y la intensidad del campo decrece linealmente con la distancia. La distancia efectiva (d_{EF}) está dada por la longitud de la trayectoria, recorrida por la onda de cielo, la cual para un salto está en función de la altura de la capa reflectora y el ángulo de elevación de la radiación. El salto necesario para cubrir la distancia que separa al emisor del receptor es llamado d_{GK} . En el caso de distancias cortas que requieren solamente de un salto a través de la ionósfera, la diferencia entre d_{EF} y d_{GK} puede llegar a ser muy grande, por ejemplo: Si d_{GK} es solamente de 200 Km. con propagación a través de la capa F2 a una altura de 320 Km. sobre la Tierra, la longitud efectiva de la trayectoria ser $d_{EF} = 670$ Km. (por trigonometría obtenemos este valor de la figura II.4.1.). Esta distancia determinará la intensidad de campo lograda en el punto receptor. Con trayectorias de radio mucho mayores (aún cuando varios saltos a través de la ionósfera sean necesarios), la diferencia entre d_{GK} y d_{EF} llega a ser despreciable.

La figura II.4.1. muestra una onda emitida desde la superficie de la Tierra en el punto A, la cual es reflejada en la ionósfera en el punto P y recibida en Tierra en el punto B. La trayectoria APB cubierta es la distancia efectiva d_{eff} , ésta es mayor que la distancia de la trayectoria d_{GK} entre los puntos A y B. (La atenuación en la trayectoria aumenta linealmente con la distancia).

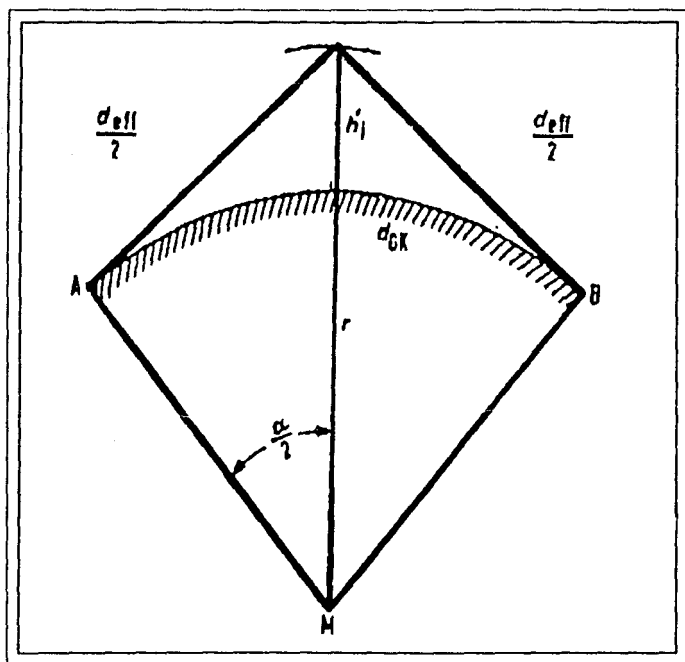


Figura II.4.1

$$d_{EF} = 2(2r^2 + 2rh'_1 + h'^2_1 - \cos(\alpha/2)(2r^2 + 2rh'_1))^{1/2} \quad (II.4.2)$$

con $r = 6370$ Km obtenemos:

$$d_{EF} = 2(8.115 \times 10^7 + 12740h'_1 + h'^2_1 - \cos(\alpha/2)(8.115 \times 10^7 + 12740h'_1))^{1/2} \quad (II.4.3.)$$

donde:

h'_1 .- es la altura virtual de la capa reflectora en Km.

α es el ángulo entre las estaciones A y B tomando como vértice el centro de la Tierra.

r .- radio de la Tierra.

La figura II.4.2. muestra la longitud efectiva de la trayectoria calculada con la ecuación II.4.3., para altitudes de la capa E de 100 Km. y de la capa F2 entre 200 y 500 Km. La atenuación en el espacio libre referida a un radiador isotrópico (antena hipotética cuyo patrón de radiación es uniforme en todas direcciones y cuya ganancia de potencia es 1 ó 0 dB), como antena transmisora y receptora está dada en dB por la siguiente ecuación:

$$L_{FR} = 20 \log(4\pi d_{EF}/\lambda) = 32.44 + 20 \log F + 20 \log d_{EF} \quad (\text{II.4.4.})$$

donde:

F está en MHz y d_{EF} en Km.

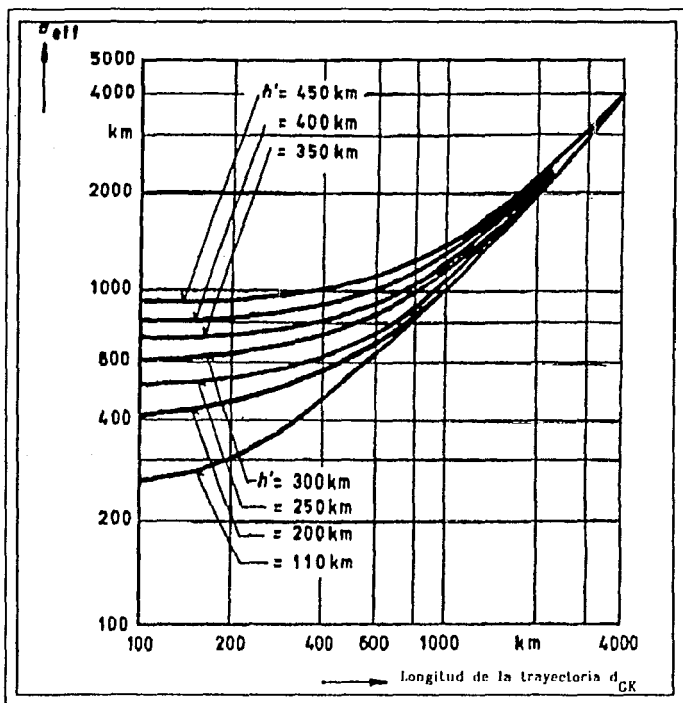


Figura II.4.2

Las pérdidas en el espacio libre (LFR) se muestran en el nomograma de la figura II.4.3. el cual considera la distancia efectiva incluyendo el ángulo de elevación. Los valores encontrados para pérdidas en el espacio libre consideran también el uso de un radiador isotrópico con pérdidas de 0 dBi en ambos lados de la trayectoria.

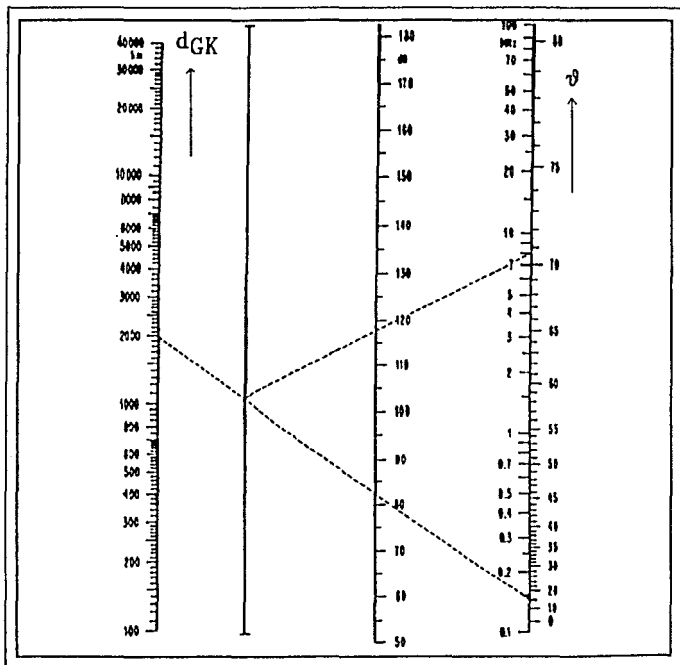


Figura II.4.3

II.4.2. PERDIDAS EN LA IONOSFERA (L_I).

La energía radiada por un transmisor de onda corta a través de la onda de cielo sufre pérdidas substanciales por absorción al penetrar en la capa D, estas pérdidas dependen de: El ángulo cenital del Sol, Ψ y del número de manchas solares R. Estos dos parámetros dan el índice de absorción I de acuerdo con la siguiente relación:

$$I = (1 + 0.0037 R) (\cos 0.881\Psi)^{1.3} \quad (\text{II.4.5.})$$

Para el cálculo de enlaces de onda corta el valor promedio de los 12 meses para R_{12} , es substituído por R. Como se ha observado en la ionización de la capa D, la absorción de la energía empieza y termina cuando el ángulo cenital del Sol Ψ es de 102.2° , dando un valor de $I = 0$ debido a que:

$$\cos (0.881 * 102.2^\circ) = \cos 90^\circ = 0$$

Con la ayuda del nomograma II.4.4. calculado de la ecuación II.4.5. el índice de absorción I puede ser rápidamente determinado para todos los valores de R_{12} y Ψ . El índice de absorción I es más alto durante los meses de invierno que durante el resto del año.

Con la frecuencia efectiva $F + F_H$ (girofrecuencia) y el ángulo de elevación de la radiación, pueden ser determinadas las pérdidas en la ionósfera L_I con la ayuda del nomograma II.4.5.

Para trayectorias que solo pueden ser cubiertas con varios saltos el valor de L_I encontrado en el nomograma mencionado será multiplicado por el número de saltos. La girofrecuencia F_H puede ser calculada de la figura II.4.6. para cada lugar geográficamente determinado de la superficie de la Tierra.

Del nomograma II.4.5 se observa lo siguiente

a).- Las pérdidas por salto llegan a ser pequeñas a una frecuencia efectiva constante y con un ángulo de elevación creciente.

b).- Las pérdidas tienden a ser pequeñas con un ángulo de elevación constante y una frecuencia efectiva creciente.

c).- A bajas frecuencias de operación la girofrecuencia puede contribuir a la reducción de las pérdidas ionosféricas. Este efecto positivo decrece cuando la frecuencia de operación se incrementa.

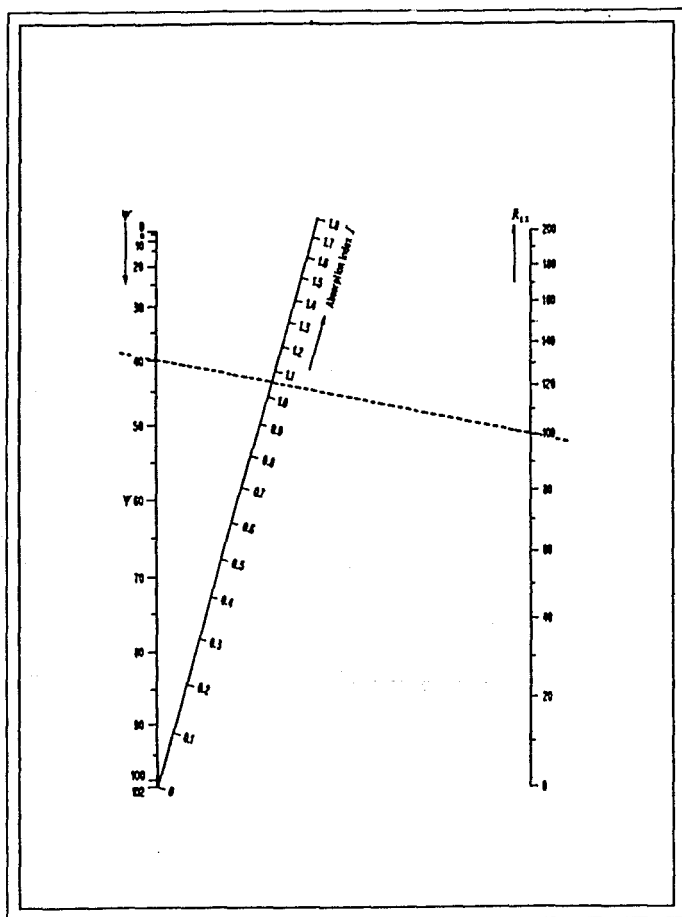


Figura II.4.4

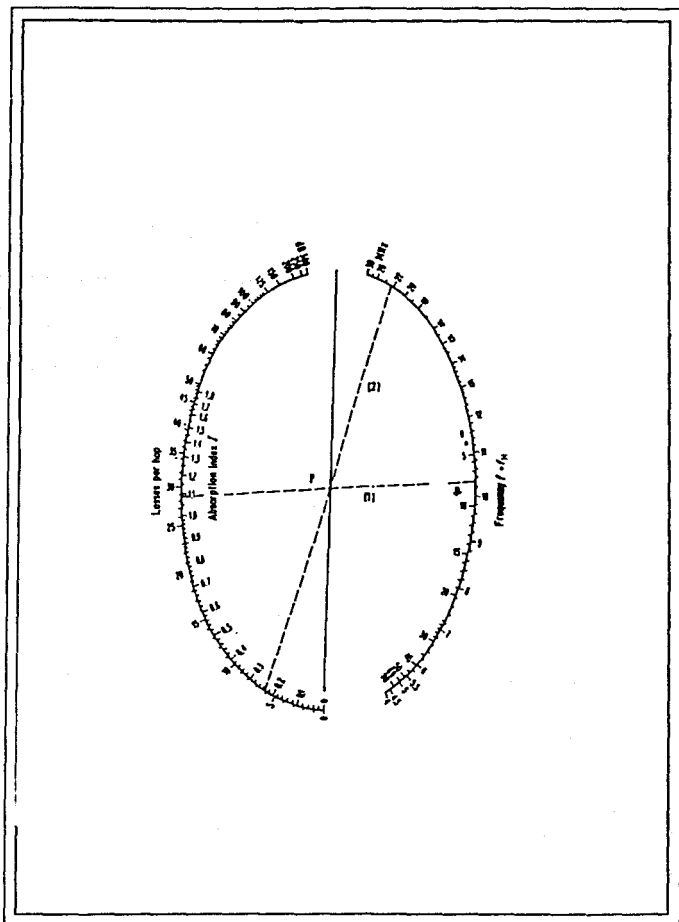


Figura II.4.5

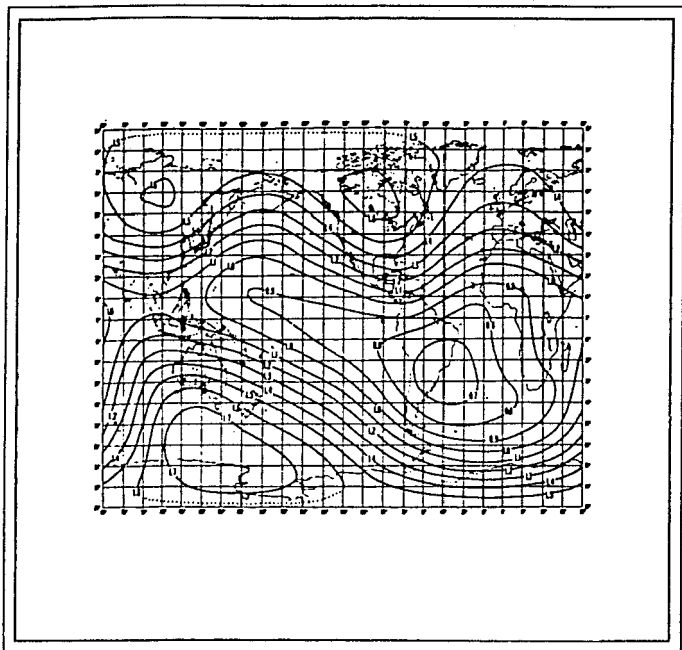


Figura II.4.6

II.4.3. PERDIDAS DEBIDAS A LA REFLEXION EN TIERRA (L_B).

Cuando una onda de cielo es reflejada por la ionósfera de regreso a la Tierra, ésta alcanza la superficie con una variación significativa, esto es con una polarización diferente a aquella con la que se emitió. La energía de la onda incidente puede entonces dividirse, dependiendo de

la polarización de incidencia, en una componente vertical y una horizontal.

Si consideramos que estas dos componentes son iguales, o sea que cada una tiene la misma fracción de la energía total llegada a la superficie, las pérdidas que experimenta la onda debido al proceso de reflexión están dadas por:

$$L_B = 10 \log((R_v^2 + R_h^2)/2) \text{ dB} \quad (\text{II.4.6.})$$

donde:

R_v .- Es el coeficiente de reflexión de la componente vertical.

R_h .- Es el coeficiente de reflexión de la componente horizontal.

Los coeficientes de reflexión son una función de la relación de los vectores eléctricos de las ondas incidentes y reflejada.

$$R_h = \frac{\sin \psi - \sqrt{n^2 - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{n^2 - \cos^2 \psi}} \quad (\text{II.1.20})$$

$$R_h = \frac{n^2 \sin \psi - \sqrt{n^2 - \cos^2 \psi}}{n^2 \sin \psi + \sqrt{n^2 - \cos^2 \psi}} \quad (\text{II.1.24})$$

donde:

ψ es el ángulo de elevación de la radiación en grados.

El índice de refracción n^2 está dado por:

$$n^2 = \epsilon_r - j \frac{18000 \sigma}{F} \quad (\text{II.4.7.})$$

donde:

ϵ_r permitividad relativa de la tierra.

σ es la conductividad de la Tierra en mhos/m.

F es la frecuencia en Mhz.

Para el cálculo de las pérdidas por reflexión en Tierra será suficiente con distinguir solamente entre superficies con $\epsilon_r = 4$ y $\sigma = 10^{-3}$ mhos/m. para tierra y con $\epsilon_r = 80$ y $\sigma = 5$ mhos/m. para mar. Cabe mencionar que diferentes valores para tierra son obtenidos dependiendo sobre todo del tiempo y las condiciones climáticas mientras que los valores para el mar permanecen constantes, referirse

a la Tabla II.3.1. En las figuras II.4.7. Se presentan dos gráficas para ejemplificar lo antes mencionado.

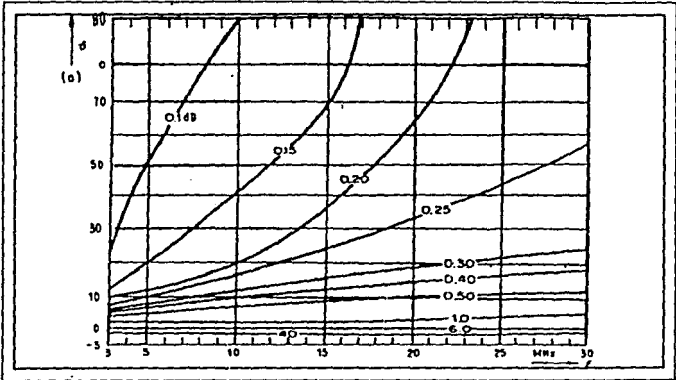


Figura II.4.7a

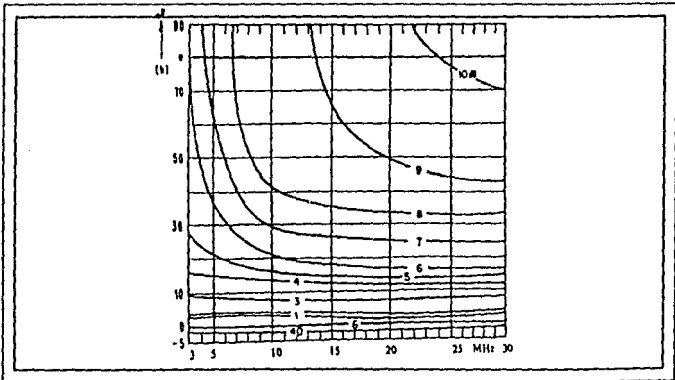


Figura II.4.7b

II.4.4 SOBREDIMENSIONAMIENTO CONTRA DESVANECIMIENTO (Y_F).

Como ya se menciona la intensidad de campo en el punto receptor esta influenciada por fluctuaciones constantes en las condiciones de propagación a lo largo de la trayectoria de radio debidas a varios tipos de fenómenos por desvanecimientos. La probabilidad de ocurrencia de algunos valores específicos de intensidad de campo siguen una distribución de Rayleigh. Según la recomendación 339-3 de CCIR, una reserva contra desvanecimiento de 14 dB es recomendada en general para enlaces de onda corta, con esta reserva se obtiene una disponibilidad para el 90% del tiempo.

Como punto de partida para el cálculo de un enlace de radio, se debe considerar el valor de la intensidad de campo o las pérdidas del sistema que son alcanzadas o excedidas para el 50% del tiempo; considerando una distribución de Rayleigh este valor puede permanecer 8.2 dB, abajo del 90% del valor. Para disponibilidad del 50% del tiempo la reserva contra desvanecimiento es entonces $14 \text{ dB} - 8.2 \text{ dB} = 5.8 \text{ dB}$.

II.5 ANTENAS.

II.5.1 PARAMETROS DE ANTENAS.

II.5.2 ANTENAS PARA PROPAGACION DE LA ONDA DE CIELO.

II.5.3 ENLACE A DISTANCIAS CORTAS.

II.5.4 TIPOS DE ANTENAS PARA DISTANCIAS CORTAS.

II.5.4.1 ANTENAS DIPOLO.

II.5.4.2 ANTENAS DE JAULA VERTICALES DE BANDA ANCHA.

En un enlace de onda corta se requiere un conjunto de frecuencias para operar durante las 24 horas del día. De acuerdo con las estaciones del año y con los cambios en las manchas solares se requiere modificar las frecuencias de operación para ajustarse a la más adecuada.

Si se contempla a largo plazo, el número de frecuencias de operación necesario para mantener disponible un enlace en onda corta puede llegar a ser muy grande. De aquí se deriva la importancia de la selección de las antenas transmisora y receptora, para trabajar en frecuencias de 3 a 30 MHz. Factores importantes a considerar para este tipo de antenas son, entre otros: El ángulo de radiación requerido, la directividad, la distancia cubierta en el enlace y las alturas de los saltos en las distintas capas de la ionósfera encontrados en la trayectoria de propagación.

Se revisan en seguida características y parámetros genéricos de las antenas.

II.5.1 Parámetros de Antenas.

a) Resistencia de Radiación (R_r).

Este parámetro está directamente relacionado con la potencia de radiación de la antena P_r . Es decir, está en función del valor medio del flujo de energía electromagnética que pasa por unidad de tiempo a través de la superficie que envuelve la antena. La potencia de radiación P_r es activa y no reactiva (ya que no regresa a la antena transmisora ni al transmisor). Por este motivo, se puede expresar por medio de una resistencia pura. Esta resistencia es la de radiación y está dada por:

$$R_r = \frac{P_r}{I^2} \quad (\text{II.5.1})$$

donde I es el valor eficaz de la corriente en la antena.

b) Resistencia de Pérdidas (R_p).

Junto con la potencia útil hay cierta potencia que se pierde por calentamiento en los conductores, en los aisladores, en la tierra y en objetos cercanos a la antena. A tal potencia de pérdidas P_p corresponde una resistencia pura llamada resistencia de pérdidas dada por:

$$R_p = \frac{P_p}{I^2} \quad (\text{II.5.2})$$

c) Resistencia Activa Total (R_a).

La potencia suministrada a la antena por el transmisor, se obtiene sumando las potencias de radiación y de pérdidas. La resistencia que corresponde a la potencia suministrada a la antena se le llama Resistencia Activa Total, viene dada por:

$$R_a = \frac{P_a}{I^2} = R_r + R_p \quad (\text{II.5.3})$$

d) Rendimiento η de una Antena

Es la relación entre la potencia de radiación y la potencia suministrada a la antena:

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (\text{II.5.4})$$

e) Impedancia de Entrada de una Antena.

Es la impedancia en las terminales de entrada de la antena, que en general tiene dos componentes; una activa R_e y otra reactiva X_e . La componente activa es, en esencia, la resistencia total equivalente R_a de la antena referida a las terminales de entrada. La componente reactiva se da ya que en la zona de inducción de la antena existe un campo magnético y otro eléctrico desplazados en fase 90° y que portan energía reactiva. Para aumentar el rendimiento de una antena se ajusta para que resuene a la frecuencia del generador. De esta manera $X_e=0$ y la carga presentada al generador por la antena es puramente resistiva.

f) Polarización.

La polarización determina la dirección de las líneas de fuerza del campo eléctrico que son recibidas o radiadas por una antena. Si tales líneas de fuerza son paralelas a la superficie de la tierra se tiene una polarización horizontal. Si la dirección de las líneas es perpendicular a la superficie de la tierra la polarización es vertical.

g) Característica de Directividad.

Si una antena es omnidireccional, su densidad de flujo de potencia de radiación se presenta en diversas direcciones. La característica de directividad de una an-

tena muestra la dependencia de la intensidad del campo de radiación respecto a la dirección.

La intensidad del campo queda plenamente caracterizada por la amplitud, la fase y la polarización. Por lo general se trata la característica de directividad en amplitud. La función que expresa esta característica se llama función de directividad, que cuando se indica gráficamente se llama Diagrama de Directividad o de Radiación.

Los diagramas de radiación se representan en dos planos: El horizontal y el vertical, dibujados en coordenadas polares. Ver figura II.5.1.

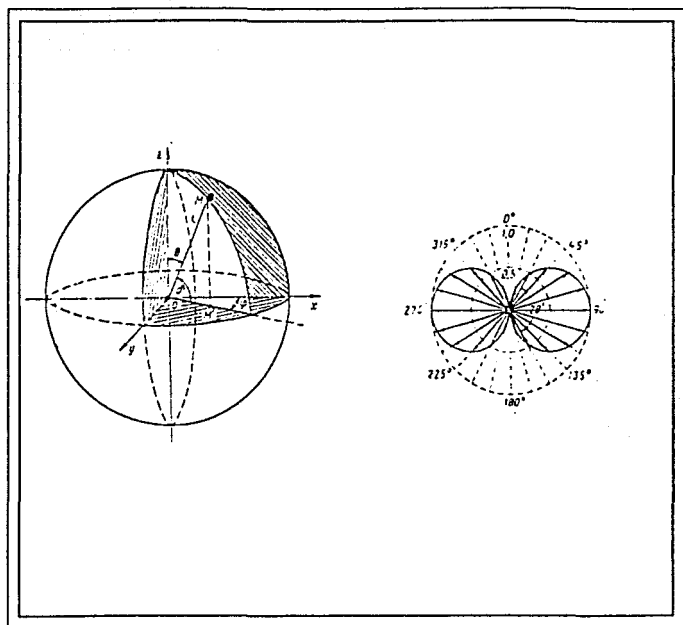


Figura II.5.1

Para construir el diagrama sobre el plano horizontal se varía el ángulo acimutal Φ , dejando constante el ángulo cenital $\Theta=90^{\circ}$. Para el diagrama vertical permanece fijo el ángulo acimutal Φ y se varía el ángulo cenital Θ .

h) Factor de Directividad (D).

Indica la relación entre la densidad de flujo de potencia emitida por la antena en una dirección determina-

da y la densidad de flujo de potencia que emitiría una antena absolutamente no direccional (isotrópica) en cualquier dirección, siendo iguales las potencias totales de radiación de ambas antenas y en el supuesto de que la medición se lleve a cabo a igual distancia de cada una de ellas. En otras palabras, es la razón de la máxima intensidad de radiación a la intensidad de radiación promedio. Es decir:

$$D = \frac{E_{\max}^2}{E_0^2} \quad (\text{II.5.5})$$

Donde:

E_{\max} representa el valor eficaz de la intensidad de campo a la distancia r de una antena dada en la dirección de radiación máxima.

E_0 representa el valor eficaz de la intensidad de campo de una antena isotrópica (no direccional) situada a la misma distancia r . Se hace notar que $E_0 = E_{\max}$ por ser antena isotrópica.

i) Ganancia de Antena (G).

Se define la ganancia como la razón de la máxima intensidad de radiación en una dirección dada a la máxi-

ma intensidad de radiación producida por una antena de referencia (isotrópica) a la cual se ha alimentado con la misma potencia de entrada. En otras palabras es el producto del factor de directividad por el rendimiento de la antena.

$$G = D\eta_a \quad (\text{II.5.6})$$

A continuación se indican algunas ganancias para ciertos tipos de antena, todas están referidas a una antena isotrópica:

Tipo de antena	Ganancia	Condición
Isotrópica	1 a 0 dBi	En el espacio libre
Dipolo Herziano	1.5 a 1.76 dBi	En el espacio libre
Dipolo de media onda	1.64 a 2.15 dBi	En el espacio libre
Dipolo de onda completa	2.4 a 3.8 dBi	En el espacio libre
Antena vertical corta	3.0 a 4.8 dBi	En el espacio libre
Antena vertical con $h_A=1/4$	3.28 a 5.2 dBi	Referida a un suelo con conductividad infinita y sin pérdidas
Antena de cuadro	1.5 a 1.76 dBi	" " "

j) Ancho de banda.

Desde el punto de vista de su operación y de la aplicación de la antena, cambia el concepto de ancho de banda, ya que algunas antenas se diseñan para operar a una sola frecuencia mientras que otras operan en un ancho de banda amplio. El ancho de banda de operación de una antena puede modificar varios factores de ésta tales como cambiar el patrón de radiación, aumentar o disminuir los lóbulos laterales, alteración de la ganancia, variación en las características de polarización e inclusive alteraciones en la impedancia.

k) Tensión máxima.

La magnitud de la energía de alta frecuencia que puede alimentarse a una antena está determinada por su diseño mecánico. En antenas resonantes (con impedancias terminadoras) la corriente al final de la antena es cero y el voltaje es muy alto; en el caso de antenas con una relación alta de l/d (longitud sobre diámetro de los elementos de la antena) el voltaje puede ser de varios kilovolts dependiendo de la altura de la antena sobre el suelo y de la energía suministrada. Se ha observado que en una antena dipolo construída de alambre, de longitud $\lambda/2$ y con una potencia de entrada de 1 kW el voltaje puede ser de 2500 a 3000 volts en las dos terminales del radiador.

1) Factor de reflexión (r).

Si una antena va a radiar toda la energía que se le suministra o la va a pasar cuando la recibe, su impedancia debe acoplarse con la del cable de alimentación de la antena. Si esta condición no se satisface, parte de la energía (en el punto de conexión donde las impedancias no se acoplan perfectamente) se refleja y regresa a su origen.

Si una antena se diseña para un uso de banda ancha, como sucede frecuentemente en onda corta, no es posible obtener un acoplamiento completo de la conexión de la antena para todas las frecuencias de su banda de operación. Entonces, se debe tratar de mantener las variaciones de impedancia y por lo tanto su desacoplamiento, en la banda de frecuencia de la antena, dentro de límites aceptables. La razón del voltaje de la onda reflejada al de la onda adelantada se le conoce como factor de reflexión de la antena y está dado por:

$$r = \frac{|V_r|}{|V_v|} \approx \left(\frac{|P_r|}{|P_v|} \right)^{1/2} = \frac{Z_a - Z}{Z_a + Z} \quad (\text{II.5.7})$$

Donde:

$|V_r|, |P_r|$ son los valores absolutos del voltaje y potencia de la onda reflejada.

$|V_v|, |P_v|$ son los valores absolutos del voltaje y potencia de la onda adelantada.

Z_a es la impedancia de la antena a la frecuencia de operación.

Z es la impedancia del cable o conexión de la antena (en general la impedancia característica) del equipo de radio.

La medida de la calidad del acoplamiento de una antena es la VSWR o razón de voltaje de onda estacionaria; está dada por:

$$s = \frac{1+r}{1-r} = \frac{|V_v| + |V_r|}{|V_v| - |V_r|} \quad (\text{II.5.8})$$

II.5.2 Antenas para Propagación de la Onda de Cielo

Enlaces de onda corta, que pueden establecerse solo por medio de la onda de cielo, emplean antenas cuyas características de radiación vertical tienen ángulos de elevación especialmente apropiados para la onda de cielo.

Los ángulos de elevación de salida y llegada, son de especial interés para el diseño de los sistemas de antena. Estos ángulos para la transmisión con un solo salto a la capa ionosférica se obtienen de una geometría triangular. Como base del triángulo se considera la curvatura de la tierra con el vértice colocado a una altura virtual donde se supone que será la altitud de la reflexión. En la figura II.5.2 se muestra dicha figura y una familia de curvas que indican ángulos de radiación a diferentes distancias.

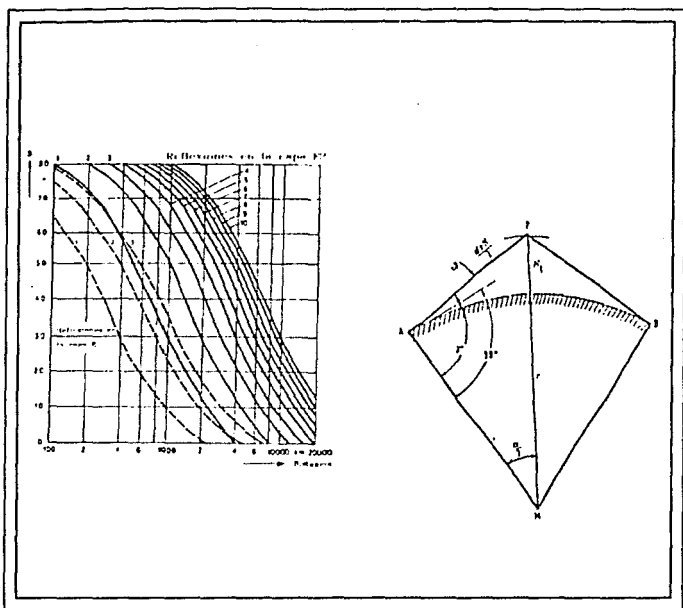


Figura 11.5.2

Donde:

$\alpha/2$ es la mitad del ángulo de la trayectoria de propagación de la distancia que se cubre en un salto.

r es el radio de la tierra (6 370 km).

$h'1$ es la altura virtual de la capa ionosférica reflectora.

de E_f está dada por la ecuación II.4.2

No es posible hacer una clasificación exacta de antenas para distintos rangos de distancia, ya que en la mayoría de los casos se presentan componentes en los diagramas de radiación vertical con ángulos de elevación que podrían permitir el establecimiento de radioenlaces a distancias más cortas o más largas. Sin embargo, ciertos tipos de antenas se prefieren para determinados rangos de distancia debido a sus características y a su conveniencia en la planeación de las operaciones de radio enlace.

II.5.3 Enlace a Distancias Cortas

Aquí se consideran enlaces donde la máxima distancia cubierta, empleando la onda de cielo, es desde unos cuantos cientos de kilómetros, pero no más de 1000 Km. Para estas distancias pequeñas, se debe considerar la polarización, las antenas con polarización horizontal son más apropiadas para la propagación de la onda de cielo.

Si tomamos en cuenta las variaciones de altitud de las capas ionosféricas, para enlaces de 100 a 1000 Km, nos encontramos con ángulos de elevación de antenas de 19° a 80° . Estos ángulos determinan el rango de operación de la antena, representan los puntos superior e inferior de potencia media en el diagrama de radiación vertical. En la figura II.5.3 se muestra un diagrama de radiación vertical de una antena que, con respecto a los ángulos de

elevación, satisface los valores requeridos para longitudes de trayectoria de 100 a 1000 Km.

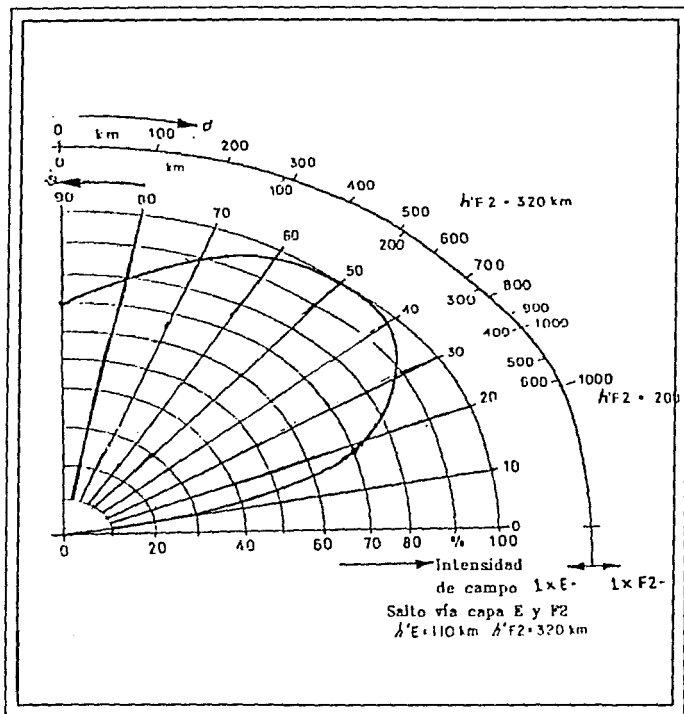


Figura II.5.3

Para cumplir las condiciones de la figura II.5.3 los tipos de antena que podrían ser apropiados para distancias cortas son:

a) Antena de Cuadro o Armazón

b) Antena Dipolo (horizontalmente)

y con ciertas limitantes:

c) Antenas de látigo o de mástil (de vara)

d) Antena vertical de banda ancha

II.5.4 Tipos de Antenas para Distancias Cortas

a) Antena de Cuadro o Armazón.

Esta pertenece al grupo de antenas magnéticas, consiste (para la banda de onda corta) de un "armazón" de metal de material altamente conductor con resistencia insignificante. Comúnmente este armazón se monta verticalmente sobre el suelo en una base o soporte de tierra. Ver figura II.5.4. Los dos extremos del armazón están directamente conectados a un circuito de sintonización y acoplamiento de alta eficiencia. Estas antenas pueden tener formas que describen áreas circulares, ovals o rectangulares.

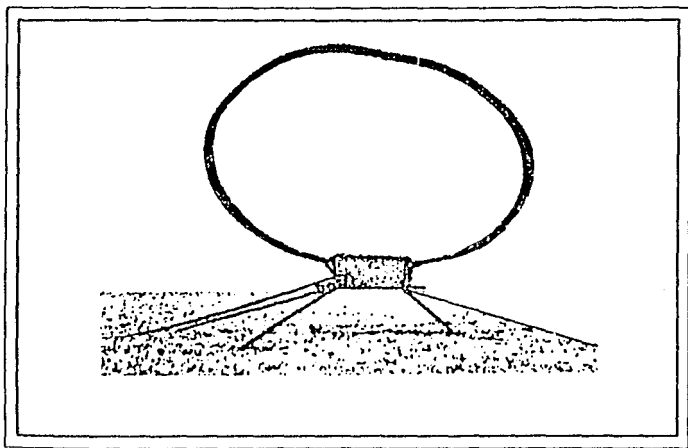


Figura II.5.4

El armazón constituye un devanado cuyo largo puede ser pequeño comparado con la longitud de onda de la máxima frecuencia a la cual puede sintonizarse la antena. De esta manera, quedan garantizadas una distribución uniforme de corriente en el armazón y un campo magnético homogéneo.

Los diseños prácticos tienen típicamente frecuencias sintonizables de 1.5 a 9 MHz y ganancia media del orden de 6 dB, considerando pérdidas y sintonización. Los diagramas de radiación, calculados para una antena de armazón de un área de 3 m^2 y una sola vuelta, a una altura sobre el suelo de 1.5 metros se muestran en la figura II.5.5. El patrón de radiación acimutal (horizontal) tiene

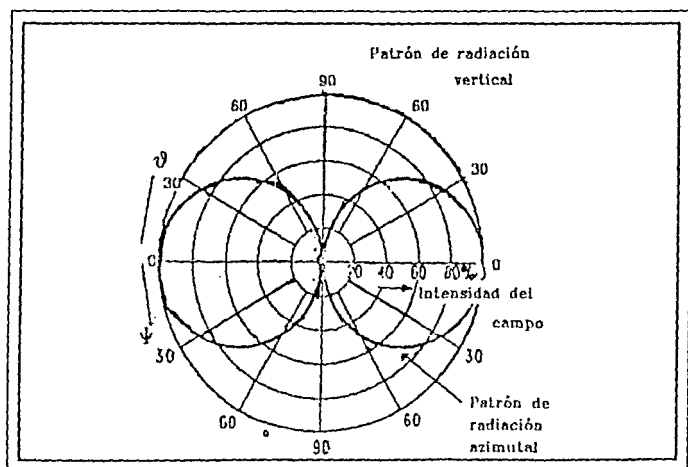


Figura II.5.5

un cero en los ángulos rectos del área del almacén; los máximos caen en el plano del almacén. El patrón de radiación vertical tiene la forma de un semicírculo, esto es que los componentes de radiación de igual medida están en el rango de 0 a 180 grados.

La forma del patrón de radiación indica que la antena de almacén es muy apropiada para radioenlaces con propagación de onda de cielo para distancias cortas y muy cortas. Sus dimensiones le permiten ser transportada en radio estaciones móviles; se puede instalar rápidamente y ocupa poco espacio.

b) Antenas de Mástil (Vara) y Látigo.

Las antenas de mástil verticales se usan frecuentemente en estaciones de onda corta que cuentan con espacio limitado para montar antenas. Las antenas de látigo se usan para estaciones móviles. Ambos tipos de antenas son cortas comparadas con la longitud de onda de la frecuencia de operación y tienen un patrón de radiación vertical que sigue el coseno del ángulo de elevación. Esto significa que cuando se montan estas antenas verticalmente sobre un suelo con buena conductividad, el máximo de la radiación se presenta en el plano del suelo y un cero ocurre verticalmente arriba. La potencia media de una antena de este tipo tiene lugar a una elevación de 45° .

Estas antenas no son muy adecuadas para distancias muy cortas porque para los ángulos de elevación

requeridos no se presenta radiación en el diagrama vertical.

Las antenas de mástil y látigo tienen una eficiencia particularmente baja cuando se montan en suelos de conductividad pobre. Se obtiene cierta mejoría cuando se establece una red de tierras en forma de estrella con su punto medio en la base de la antena.

La longitud l_D de los cables de tierra y su número es una función del producto de la conductividad del suelo σ y la frecuencia de operación f . La forma de esta función se muestra en la figura II.5.6.

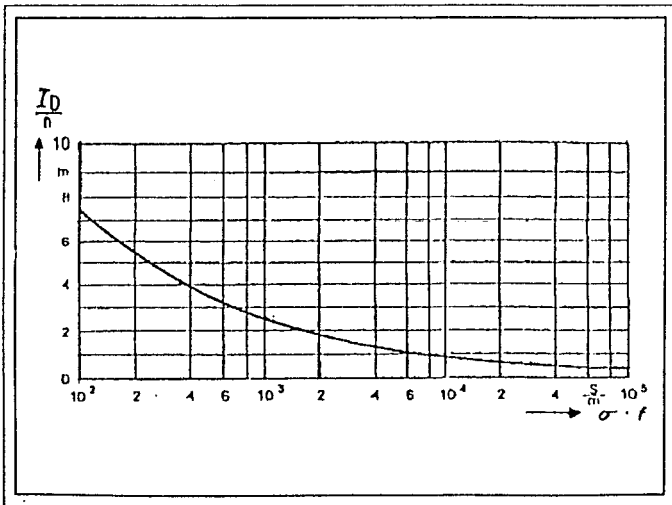


Figura II.5.6

De la figura se obtiene un valor para la longitud l_D arriba del cual no se puede esperar una mayor mejora real. El diseño de la red de tierra mejora la eficiencia de la antena al reducir las pérdidas en el suelo. La eficiencia también depende en gran medida de la relación entre el largo de la antena y la longitud de onda de la frecuencia de operación.

Como se muestra en la figura II.5.7, se puede esperar una eficiencia arriba del 50% solamente con longitudes de antena que excedan 10 % de la longitud de onda.

El montaje de antenas en azoteas tiene el inconveniente de que es difícil describir un patrón de radiación realmente confiable. Radioestaciones móviles con servicio en movimiento usan principalmente antenas de látigo. Para reemplazar la red de tierra solamente se puede recurrir al chasis del radio-vehículo, cuya forma y dimensiones no ofrecen de ningún modo condiciones ideales. Los alcances efectivos de antenas de látigo, aún cuando se sostengan durante el viaje oblicuamente por cuerdas aisladas, son muy bajos.

Se han medido en una antena de látigo real de 5 metros de largo, montada en un jeep, ganancias de 30 dB a 4 MHz y de 8.5 dB a 8 MHz. Estos valores incluyen las pérdidas en el circuito acoplador de la antena.

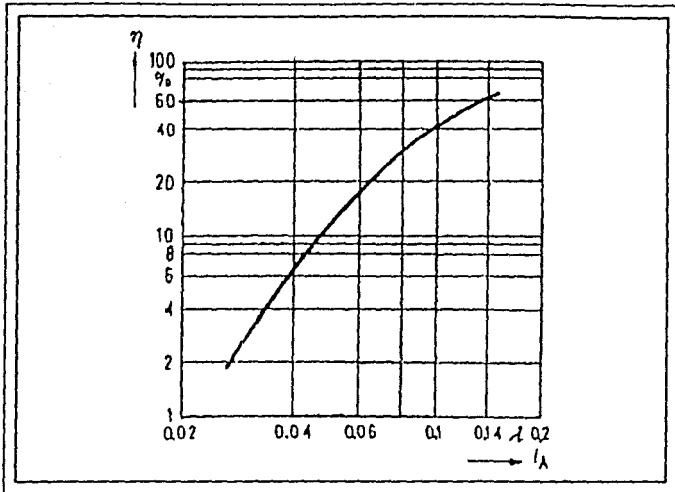


Figura II.5.7

II.5.4.1 Antenas Dipolo.

Las estaciones fijas de onda corta cuentan con suficiente espacio para montar antenas transmisoras y receptoras. Para cubrir distancias cortas de no más de 1000 Km, en este tipo de estaciones, para tomar ventaja se pueden usar antenas dipolo de media onda; estas pueden ser construídas como de banda angosta, de banda ancha y antenas con impedancias terminadoras. La alimentación de la antena es simétrica, de impedancia óhmica baja, y se situa en la parte central de la antena.

Si se emplea cable coaxial para la conexión de la salida del transmisor o de la entrada del receptor, se debe colocar un transformador balanceado a no balanceado entre el cable y la conexión de la antena. Por lo general las antenas dipolo se suspenden paralelas al suelo sobre dos mástiles de igual altura. Hay también diseños que tienen solamente un mástil central del cual las dos mitades dipolares de $\lambda/4$ de largo son conducidas oblicuamente hacia abajo.

Las antenas dipolo tienen normalmente polarización horizontal. Los diagramas de radiación vertical y acimutal para alturas de $h_A/\lambda=0.25$ a 0.75 sobre el suelo se muestran en la figura II.5.8. Como se observa en la figura, las antenas dipolo con alturas sobre el suelo de $h_A=0.25\lambda$ y 0.30λ y con algunas limitaciones 0.35λ , pueden usarse omnidireccionalmente.

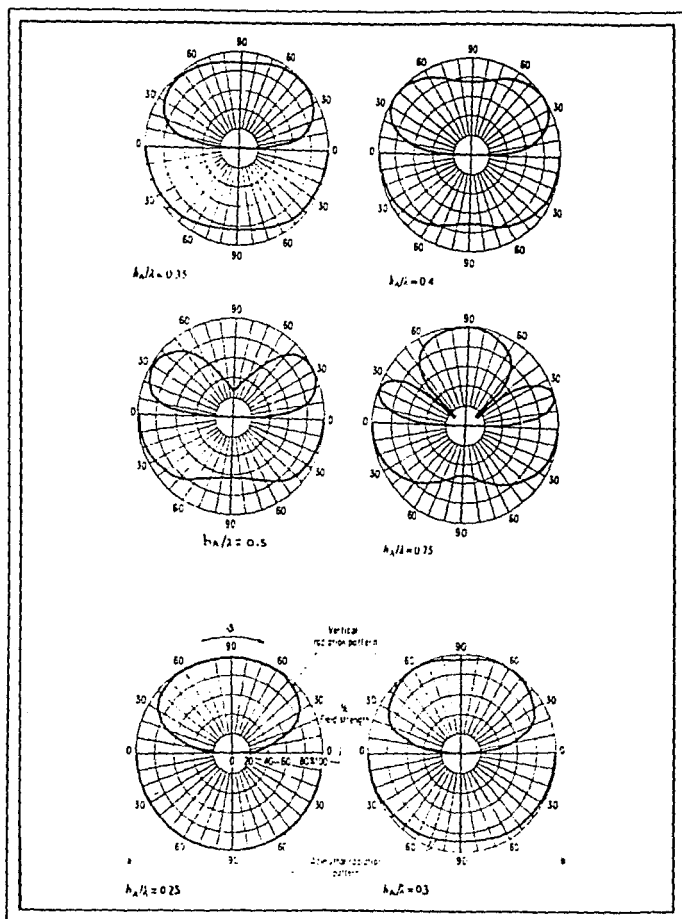


Figura 11.5.8

La falta de circularidad de los patrones de radiación acimutal es menor a 2 dB para tales alturas de antenas, lo que corresponde a un 79.4% de la radiación máxima. Estos patrones de radiación se aplican a dipolos resonantes de banda estrecha y también a diseños de banda ancha.

Para este último caso se hace notar que la altura de la antena sobre la tierra, medida en longitudes de onda, varía con el rango de frecuencias permitidas. Si, por ejemplo, un dipolo con una relación de frecuencia de 1:4 tiene una altura sobre la tierra de $h_A=0.25\lambda$, en la frecuencia más baja, entonces su altura se eleva a una longitud de onda completa si la antena se opera a la frecuencia máxima.

Valores guía para antenas dipolo en función de la altura de la antena

Altura h_A/λ	Angulo de elevación θ (in $^\circ$)			Rango (km)		Banda (MHz)	Ganancia para θ_{max} (dB)
	-3 dB	max	-3 dB	1E	1F2		
0.25	—	90	18	100 to 650	100 to 1600	2.3 to 16	5.4
0.3	—	65	15	100 to 750	100 to 1800	2.3 to 18	4.9
0.35	—	45	13	100 to 850	100 to 2000	2.3 to 20	4.7
0.4	—	37	11	100 to 900	350 to 2100	2.3 to 20	5.0
0.5	58	30	8	250 to 1100	400 to 2600	2.5 to 22	6.1
0.75	35	18	7.5	350 to 1200	800 to 2600	2.5 to 22	2.9

Tabla II.5.1

La tabla II.5.1 muestra datos útiles de antenas dipolo para propósitos de planeación.

En la figura II.5.9 se muestran algunos ejemplos del diseño mecánico de antenas dipolares.

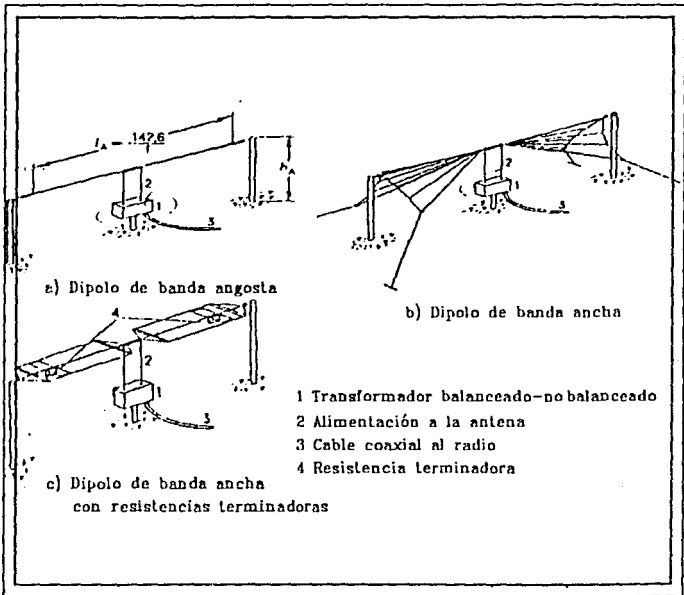


Figura II.5.9

II.5.4.2 Antenas de Jaula Verticales de Banda Ancha.

Si una estación fija de onda corta va a suministrar servicios omnidireccionales, o si va a recibir mensajes desde cualquier dirección, Además de las antenas dipolo con alturas hasta de 0.35λ , las antenas de jaula de banda ancha son las más adecuadas para este tipo de aplicación.

Estas antenas de jaula son comparables en propiedades de radiación a las antenas de mástil. Debido a que son más altas y a su operación en banda ancha tienen mayor alcance, por tanto son aptas para cubrir un área que requiere servicios omnidireccionales.

El diagrama de radiación acimutal de este tipo de antenas es circular. En la figura II.5.10 se muestran los diagramas de radiación vertical de una antena típica sobre suelo con conductividad infinita para seis alturas de antena.

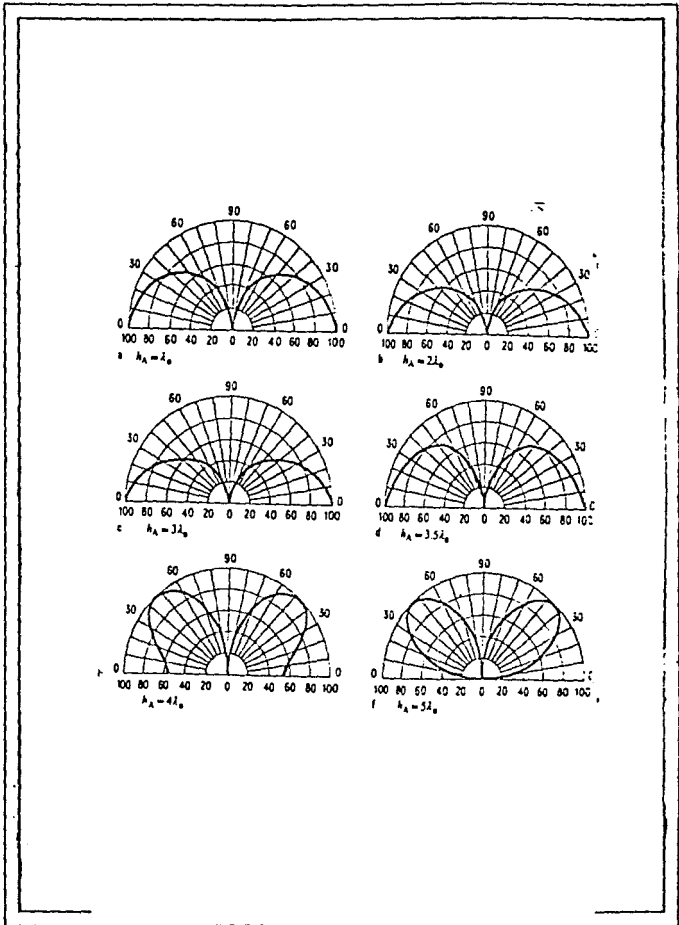


Figura 11.5.10

La estructura de una antena de jaula de banda ancha consiste básicamente de un doble cono formado por un número de cables de antena. Esto produce una forma de radiador con una relación l/d pequeña, siendo éste el factor que decide la naturaleza de banda ancha de la antena. Cuando estas antenas de jaula se usan para propósitos de transmisión, es particularmente necesario mantener una VSWR de $s=2$. La figura II.5.11 muestra la construcción de una antena de jaula de banda ancha compensada de este tipo; tiene la característica especial de que aún a bajas frecuencias es suficiente una antena de poca altura. El sistema de antena consiste de un mástil de soporte y ocho cables de antena mantenidos en la forma de jaula deseada por tirantes.

Esta antena es también adecuada para comunicaciones a todo el mundo dentro de una banda de frecuencia de 1:3.5 (ver también los patrones de radiación de la figura II.5.10). La impedancia de entrada no es simétrica de acuerdo con el estándar internacional de 50Ω y el equipo de radio se conecta vía un cable coaxial.

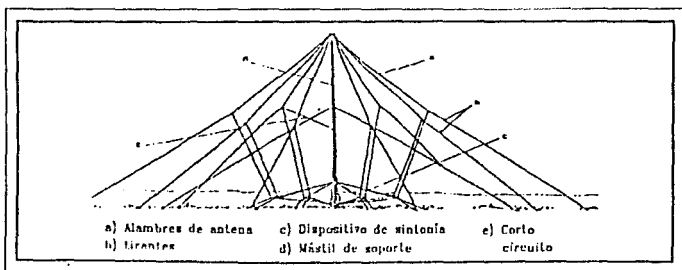


Figura II.5.11

CAPITULO III

APLICACIONES A LA

TELEFONIA RURAL

Desde el punto de vista técnico se observa en los capítulos anteriores que es factible la aplicación de la onda corta para resolver el problema de comunicaciones, en particular de radiotelefonía. En este capítulo se hace un análisis socioeconómico para determinar la factibilidad de aplicación de dicha tecnología en el ámbito rural; asimismo, se indican otros servicios que pueden ofrecerse en este medio. En otra parte del capítulo se trata la infraestructura necesaria para brindar el servicio y se considera la interface con la red telefónica pública.

III.1 REGIONES DE APLICACION EN MEXICO.

III.1.1 LA TELEFONIA RURAL EN EL PAIS.

III.1.2 RESUMEN DE LA SITUACION DE LAS COMUNIDADES RURALES.

III.1.3 ANTEPROYECTO TECNICO DEL PLAN NACIONAL DE TELEFONIA RURAL.

III.1.4 APLICACION DE LA TRANSMISION DE ONDA CORTA A LA RADIO TELEFONIA RURAL.

En el campo de las telecomunicaciones, la demanda de servicios es objeto de una estricta planeación, cuyos resultados se pueden apreciar en proyecciones de 10 a 20 años. Como es lógico, las consideraciones financieras y económicas juegan un papel preponderante en la toma de decisiones en relación con los planes de servicios de telecomunicaciones. Las regiones más favorecidas son las zonas urbanas; mientras que la planeación de servicios para zonas rurales, sumidas en la pobreza, requiere de una manera especial de enfocar el problema.

III.1.1 LA TELEFONIA RURAL EN EL PAIS.

De acuerdo con el Documento Básico del Plan Nacional de Telefonía Rural (PNTR) a pesar del impulso que ha brindado el Gobierno Federal, la telefonía rural se encuentra en un estado incipiente de desarrollo, ya que sólo el 2% de las localidades rurales en todo el país disponen de este servicio.

Las Localidades Rurales en México.

El número de localidades rurales, con menos de 2500 habitantes, ha variado en los últimos 40 años. El mayor número de localidades (104 802) se alcanzó en el año 1940, disminuyendo en un 15% hacia 1960. Sin embargo esta cifra aumentó a 95 410 para 1970 y se estima que a fines de siglo disminuirá a un valor entre 70 y 80 mil.

CARACTERISTICAS DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LAS ZONAS RURALES.

Escasa cantidad de habitantes.

Alejados de las grandes ciudades.

Clima extremoso.

Escasos recursos económicos.

Pocos servicios públicos.

Mínima actividad económica.

Predominio de actividades agrícolas y ganaderas.

Comercio limitado.

Nula actividad industrial (en la mayoría de los casos).

De difícil acceso.

En la República Mexicana las zonas con mayor densidad de localidades rurales son las del centro y sur donde existen aproximadamente el 85 % del total. Ver Figura III.1.1.

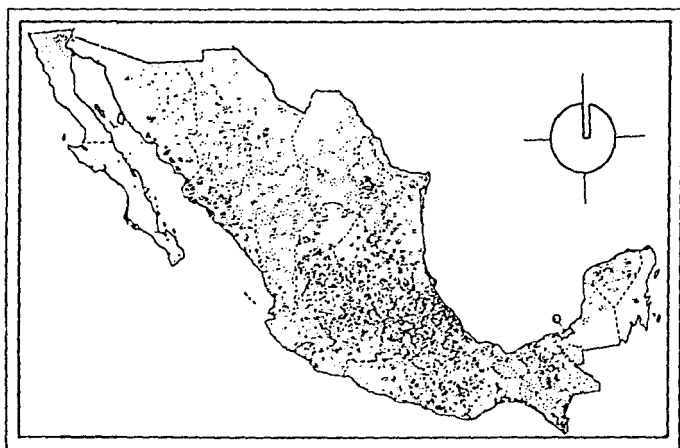


Figura III.1.1

Los organismos que atienden demandas de servicio telefónico rural son principalmente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Teléfonos de México, S.A. de C.V. (TELMEX). Otras empresas concesionarias participan en forma muy modesta.

TABLA III.1.1

SERVICIO TELEFONICO PROPORCIONADO POR LA SCT A LAS LOCALIDADES RURALES.

No. de Poblaciones Atendidas	Rango de Habitan- tantes	Medio de transmisión	Poblaciones conectadas a la Red de TELMEX
2,612	500 a 2,000	Par físico y ra- dioenlaces	1,786

TABLA III.1.2

SERVICIO TELEFONICO PROPORCIONADO POR TELMEX A LAS LOCALIDADES RURALES.

Cantidad de Servicios por División

Norte	Occidente	Centro	Sur	Total
393	524	1,445	944	3,306

Las poblaciones atendidas por Telmex cuentan con camino transitable todo el año así como con energía eléctrica. De la 3306 poblaciones atendidas por Telmex:

1322 poblaciones tienen entre 2,500 y 9,999 habitantes (representan el 85% de las 1555 poblaciones en este rango). 1852 poblaciones tienen entre 1,000 y 2,499 habitantes (representan el 45% de las 4115 poblaciones en este rango). 132 poblaciones tienen entre 500 y 999 habitantes (representan el 1.79% de las 7384 poblaciones en este rango).

III.1.2 RESUMEN DE LA SITUACION DE LAS COMUNIDADES RURALES.

En la composición de la población en el país, es notable el contraste entre el crecimiento y la concentración de la población urbana con la distribución y dispersión de la población rural.

Esta desigualdad en la distribución poblacional obedece, entre otras causas, a la migración del campo a las ciudades, donde la población se ve más favorecida económicamente y cuenta con mejores servicios de educación y bienestar social. En tanto, en el medio rural, donde un alto porcentaje de la población se dedica a las actividades primarias, se registran altos índices de analfabetismo, desempleo y subempleo.

La evolución económica del país en los últimos años ha acentuado las diferencias urbano-rurales. Los indicadores de bienestar social como la educación, la salud y la vivienda, también apuntan que el sector rural se ha quedado rezagado con respecto a las zonas urbanas, requiriéndose de grandes esfuerzos para cubrir sus serias deficiencias de bienestar social, si ha de cumplirse con el objetivo del gobierno federal, de lograr mejores niveles de desarrollo, distribuidos con mayor equidad entre la población y regiones del país.

A nivel nacional, si bien el sector comunicaciones y transportes ha disminuido su participación en la inversión pública federal y en su contribución al Producto Interno Bruto, las telecomunicaciones y en particular la telefonía, han mantenido su ritmo de crecimiento.

El crecimiento del servicio concesionado de telefonía se ha concentrado en el medio urbano, donde los costos marginales de expansión son menores a los correspondientes en el medio rural. De esta manera, si bien las localidades con más de 2500 habitantes cuentan con el servicio telefónico, sólo un 2 % del total de comunidades rurales tienen acceso a este medio de comunicación.

Los esfuerzos del Gobierno Federal y la consiguiente expansión de la red telefónica actual hacia las zonas rurales, han sido insignificantes, comparados con la demanda potencial de servicio que representa el gran número

ro de poblaciones rurales dispersas en todo el territorio nacional.

Aún cuando la telefonía ha observado altas tasas de crecimiento, su desarrollo es relativamente reciente y su baja penetración en el medio rural (al igual que el de servicios más antiguos como el correo y el telégrafo), es explicable por el rápido incremento en el costo de proporcionar el servicio a localidades rurales más apartadas de las áreas urbanas.

No obstante puede esperarse, en términos generales, que la telefonía sea el servicio con mejores oportunidades de extenderse hacia las zonas rurales, dado que, por su tecnología, los costos de operación resultan inferiores a los de otros medios convencionales de comunicación.

El impulso al desarrollo nacional que el Gobierno Federal pretende (Plan Nacional de Desarrollo 1988-1994) implica la materialización de planes y programas productivos en zonas rurales donde en ocasiones se cuenta con enormes recursos naturales potencialmente explotables. El incremento de la producción actual y el éxito de los planes sectoriales de desarrollo dependen, en buena medida, del apoyo que proporcione el sector servicios, cuyo desarrollo deberá ser en consecuencia integral y ordenado.

De particular importancia resulta ser el Plan Nacional de Telefonía Rural, cuyos lineamientos permitirían

guiar el desarrollo del servicio telefónico, de manera estructurada y programada, hacia el medio rural, en apoyo a los sectores económicos de la producción.

III.1.3 ANTEPROYECTO TECNICO DEL PLAN NACIONAL DE TELEFONIA RURAL.

Al interpretar las políticas y los objetivos del sector comunicaciones, así como las políticas de consolidación e impulso al crecimiento de las zonas rurales del país, se ha delimitado el alcance del Plan Nacional de Telefonía Rural (PNTR) a poblaciones rurales de 500 a 2500 habitantes y que cuentan o contarán en breve con el importante servicio básico de electrificación, incluyendo además aquellas localidades de marcado interés de desarrollo estatal

El diseño de las redes telefónicas de mínimo costo, que permitirían incorporar a las poblaciones rurales de interés, presenta los siguientes resultados: Se muestra una alta participación de las tecnologías de radioenlace y cables (79% del total). El restante 21% corresponde al uso de la tecnología de estaciones terrenas de baja capacidad para enlaces vía satélite.

La alternativa tecnológica de satélite fue incluida en el modelo de diseño de las redes de telefonía rural, puesto que los costos de las estaciones terrenas son independientes de la distancia, y que, para núcleos o localidades apartadas de la red telefónica nacional, resultan ser,

entonces, de menor costo que otras alternativas de enlace sobre la superficie.

Sin embargo, dado que la red telefónica nacional existente se extiende sobre todo el territorio, los resultados del PNTR favorecen, como es de esperarse, el uso de las tecnologías de radioenlaces y cables, mostrando que sólo un 10% de los enlaces totales requerirían de estaciones terrenas para servir normalmente a una localidad y a pequeños y apartados grupos de 2 a 4 localidades.

Si bien el empleo de la tecnología de enlaces vía satélite reduciría los costos del servicio en el 10 % de las poblaciones consideradas, dificultaría por otra parte su justificación económica, debido al reducido tráfico que habría de canalizarse, a la incongruencia en calidad tecnológica del servicio entre un mínimo de poblados marginales y el resto de las poblaciones del PNTR.

III.1.4 APLICACION DE LA TRANSMISION DE ONDA CORTA A LA RADIO TELEFONIA RURAL.

El Plan Nacional de Telefonía Rural en lo referente a radio enlaces considera la aplicación de equipos que operan en las bandas VHF 148-174 y 229-243 MHz y UHF 406.1-420 MHz. Los sistemas VHF/UHF tienen trayectorias directas de ondas electromagnéticas tipo línea de vista y la distancia máxima entre transmisor y receptor fluctua entre 60 y 70 Km. Por lo general se diseñan para servir una distancia promedio de 15 Km. Como se observa

en el PNTR no se consideró en todo su potencial la aplicación de la tecnología de onda corta. Esta omisión es posible que se derive del hecho que hace algunos años, expertos en comunicaciones habían augurado el fin de la radio comunicación por HF debido a la introducción de los satélites.

No solamente fallaron en sus predicciones; sino que además, ha ocurrido todo lo contrario. Gracias a la aplicación de técnicas avanzadas en computación y al gran desarrollo de la electrónica, la aplicación de equipos de onda corta ha excedido las expectativas de crecimiento.

En naciones en desarrollo, en especial de grandes dimensiones geográficas, como la nuestra, la aplicación de la tecnología de HF ofrece un medio económico de comunicar poblaciones apartadas y permite la integración del país. Los sistemas de onda corta se pueden emplear en forma económica para proporcionar, entre otros servicios, educación a poblaciones aisladas sin tener que recurrir a otros medios más costosos.

Al mismo tiempo los sistemas de radio teléfono empleando onda corta tienen aplicación en el medio rural ya que pueden llegar a cubrir grandes distancias, dependiendo de la frecuencia, entre transmisor y receptor, y no presentan el inconveniente de requerir línea de vista. Esta última característica es muy favorable dada la orografía del territorio nacional. Aunque el rango de frecuencias de 3 a 30 MHz pueda parecer bajo, los sistemas de

onda corta pueden desempeñarse adecuadamente en enlaces punto a punto.

Aún cuando es necesario un cálculo cuidadoso de las frecuencias de operación para compensar desigualdades en las condiciones ionosféricas (lo cual es el tema principal de este trabajo), los sistemas HF ofrecen una excelente alternativa de bajo costo en áreas rurales principalmente cuando no hay algún otro medio de telecomunicación disponible.

III.2. SERVICIOS QUE PUEDEN SER PROPORCIONADOS POR ESTE MEDIO

III.2.1 SERVICIOS EN ONDA CORTA

III.2.2 BANDAS DE FRECUENCIA DE ONDA CORTA

Existen equipos de radio constituídos con los últimos avances tecnológicos de tal forma que los servicios que se pueden obtener empleando señales de radio en la banda de 3 a 30 MHz se vuelven más versátiles al mismo tiempo más eficientes y económicos.

La aplicación básica considerada en el presente trabajo es la transmisión de voz (radiotelefonía) por HF, sin embargo existen otros servicios que dependen del tipo de información que se quiera transmitir tales como:

- a) Voz.
- b) Morse.
- c) Teletipo.
- d) Facsimil.
- e) Datos a impresoras.
- f) Datos entre computadoras.

Los servicios adicionales podrán ser utilizados con el mismo sistema de transmisión de voz efectuando las ampliaciones de equipo correspondientes, las cuales se llevaran al cabo conforme las necesidades y progreso de las zonas rurales que cuenten con instalaciones de este tipo.

A continuación se describen brevemente estos servicios.

III.2.1 SERVICIOS EN ONDA CORTA.

a) Transmisión de voz: La transmisión en alta frecuencia es un recurso en donde el medio de transmisión es natural y gratuito (Ionósfera). Por tal motivo se deben explotar al máximo las ventajas que ofrece para integrar a las numerosas comunidades rurales del país carentes de servicios telefónicos.

Las técnicas actuales de transmisión simplifican grandemente el trabajo requerido para lograr enlaces confiables, ya que los equipos transmisor y receptor seleccionan la frecuencia de operación de entre un rango de frecuencias disponibles en tiempos tan cortos que la continuidad y claridad de la transmisión de voz es adecuada.

La radiotelefonía ofrece a las comunidades rurales la comunicación básica por voz favoreciendo su desarrollo.

b) Transmisión Morse: Es uno de los servicios que pueden ser adicionados al sistema de transmisión de voz para utilizar el alfabeto tradicional de puntos y rayas como sistema telegráfico.

Dependiendo del sistema la velocidad de envío de datos puede encontrarse entre 20 y 50 bauds (Unidad de Velocidad de Modulación; el número de bauds es igual al

inverso de la duración expresado en segundos del elemento de señal más corto o del intervalo unitario en dicha señal), para el tipo de emisión telegráfica sin modulación de la portadora de HF.

El ancho de banda en Hz está en función de la velocidad de los datos y está dado por:

$$B = KB$$

donde K es un factor dependiente de la distorsión permisible de la señal. Para el caso de enlaces sujetos a desvanecimiento $K = 5$.

En el caso de telegrafía modulada con audiofrecuencia se tendrá que:

$$B = KB + f_m$$

donde f_m es igual a la frecuencia de voz con que se modula la señal, por ejemplo 1000 Hz.

c) Transmisión por Teletipo: Servicio por el cual los textos pulsados en un teclado desde el transmisor aparecen escritos en el extremo receptor. Utiliza el código Baudot con una capacidad de transmisión de 32 caracteres, el envío por HF se hace por frequency-shift-keying (FSK), que según la técnica de modulación Bell es igual a 103 (FSK) equivalente a 300 bps.

Una relación entre palabras y velocidad de caracteres esta dada por :

$$\text{Palabras por minuto} = \frac{\text{Vel. de Modulación (bauds)} \times 10}{\text{unidades (bits) x caracter}}$$

Vel. de Mod. = $1 / t_b$ (bauds).

t_b = duración de un bit.

d) Transmisión por Facsimil: Al igual que en el caso anterior con esta alternativa se podrán transmitir escritos, dibujos, documentos firmados, etc. desde el transmisor.

El facsimil se transmite por modulación en amplitud de onda corta, la velocidad con que se muestrean los datos es hasta de 3600 bauds y el envío por HF se hace a 720 bps.

Su ancho de banda esta dado por:

$$B = KN + 2D$$

donde K es un factor dependiente de la distorsión permisible, en este caso $K = 1.5$.

N es el número máximo de elementos a transmitir de un texto o imagen.

D es la frecuencia.

e) Transmisión de datos a Impresoras: Con este tipo de servicio podrán ser recibidos datos en equipos impresores utilizando para ello el código ASCII ya que este sistema es compatible con sistemas de computo. La velocidad de transmisión va de 50 a 240 bauds dependiendo de el tipo de modulación.

f) Transmisión entre computadoras: Este medio permite la transmisión entre computadoras. Uno de los códigos utilizados es el ASCII basado en la traducción de textos y datos a forma binaria, creado por la American Standar Code for Information Interchange de donde toma su nombre.

Las velocidades más frecuentemente usadas para el manejo de datos son 300, 1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 bps (transmisión de bits por segundo) en telefonía y de 720 a 1200 bps en HF.

Para obtener un sistema de transmisión de datos confiable es recomendable tener un procesador de mensajes al cual se puedan interconectar los equipos que se

requieran según las necesidades del servicio para cumplir con los siguientes puntos:

Recepción de información correcta.

Enlace oportuno.

Envío exacto.

Uso exclusivo del circuito.

Fácil repetición.

El funcionamiento de este tipo de sistemas se efectúa de la siguiente forma:

- 1.- Se ingresa la información a transmitir.
- 2.- Se almacena la información momentáneamente.
- 3.- Se analiza la información.
- 4.- Se emite la señal con el mensaje dando prioridad al de mayor importancia de acuerdo a instrucciones previas.

La figura III.2.1 muestra el diagrama de bloques a utilizar para cubrir los tipos de servicio adicionales.

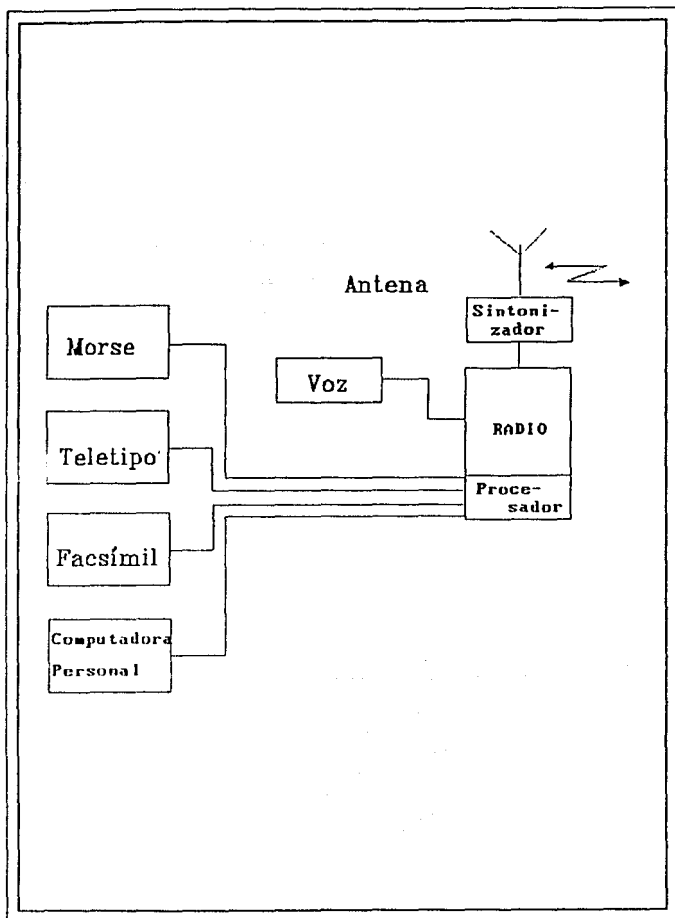


Figura III.2.1

III.2.2 BANDAS DE FRECUENCIA DE ONDA CORTA

La banda completa de frecuencias de 1.5 a 30 MHz disponible para servicios de onda corta es muy limitada comparada con los muchos servicios y radio enlaces que son operados dentro de ésta. De acuerdo a la Lista de Frecuencias Internacionales de la IFRB (International Frequency Registration Board) muchas de las frecuencias son asignadas a varios usuarios especialmente para servicios nacionales. Esto provoca serios congestionamientos de ocupación de frecuencias en la porción baja de la banda de onda corta, sobre los 10 MHz, dentro de los cuales aproximadamente el 62 % de todas las frecuencias distribuidas se traslapan.

Esta densa ocupación de la banda disponible de onda corta con alto rango de ocupación demanda observar cuidadosamente las recomendaciones y regulaciones para poder prevenir la gran escala de interferencias.

Así la potencia radiada debiera ser tan grande como fuera absolutamente necesario para operación del servicio en cuestión. Es recomendable seleccionar una técnica adecuada de modulación para garantizar una recepción clara del mensaje sin ocupar todo el ancho de banda disponible.

El IFRB asigna frecuencias para las emisiones de banda-angosta (tales como Teleimpresión) obteniendo

frecuencias de manera que no afecten por interferencia a las emisiones de banda ancha, es decir; a aquellas que por un mismo medio y en forma simultánea ofrecen señales de telefonía, datos a alta velocidad, etc.

La ITU (International Telecommunication Union) ha definido 3 regiones en el mundo para asignación de frecuencias de onda corta. Algunos servicios de radio son puestos en las bandas de frecuencias disponibles para determinadas regiones especialmente sus porciones bajas. Las regiones comprenden los siguientes territorios.

Región 1

Europa e Islandia

El Continente Africano

El Medio Oriente incluyendo la Península Arábiga

Unión Soviética

Región 2

El Continente Americano (Todo)

Groenlandia

Región 3

Todos los países en el Continente Asiático excepto para Territorios Rusos

El Continente Australiano

Gran parte de los Océanos Pacífico e Indico

La figura III.2.2. muestra los límites de las 3 regiones.

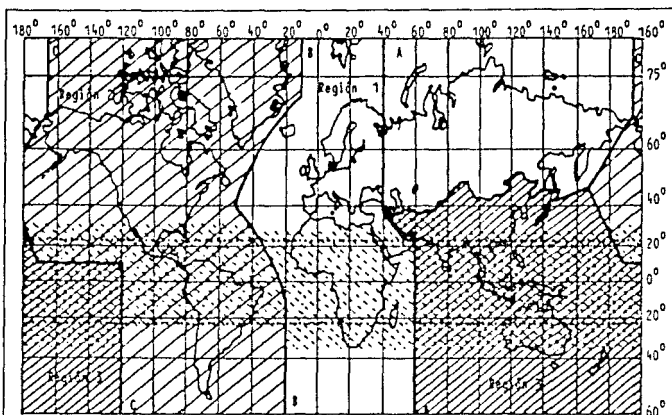


Figura III.2.2 Mapa mundial mostrando las regiones sobre las cuales se basa la distribución de frecuencias de onda corta.

El área punteada muestra la zona tropical. (20° Norte y Sur).

Figura III.2.2

La banda de onda corta de 1.5 a 30 MHz es subdividida en un número de bandas parciales las cuales son asignadas a servicios específicos de radio. Esto puede ser posible para cada radio servicio usando varias bandas pequeñas distribuidas sobre toda la banda, así se ofrecen posibilidades de cambio durante el día, transición y horarios nocturnos y de extenderse sobre diferentes distancias quedando cubiertos los siguientes servicios.

a) Servicios Fijos:

Radio enlace entre estaciones fijas. Esto incluye radio enlaces comerciales, generalmente operados por administraciones (gubernamentales) y en algunos países operados por compañías privadas.

Enlaces de radio no comerciales. Utilizados por autoridades públicas (aduanas, policía, servicios de rescate, meteorológicos, etc.) servicios fijos de radio aeronáutico, servicios diplomáticos, servicios de prensa, enlaces privados de radio comunicación, radiotelefonía, etc.

b) Servicios Móviles:

Radio enlaces entre estaciones móviles (vehículos con equipo de radio) y entre estas con estaciones fijas. Los principales usuarios son las autoridades públicas tales como aduanas y policía, aunque también organizaciones privadas como firmas constructoras, instituciones de investigación, etc.

c) Servicios Radio Marítimos:

Radio enlaces entre barcos o de estos con estaciones costeras fijas.

d) Servicios de Aeronáutica:

Radio enlaces entre aviones y estaciones en tierra (restringidas a información operacional).

e) Servicios de radiodifusión:

Proveen un servicio de radiodifusión nacional o de servicio de poblaciones lejanas y partes de todo el mundo con programas de radiodifusión. La radiodifusión mundial es emitida con potencias muy altas y antenas de muy alta ganancia

f) Frecuencias Standard:

Usando generadores de frecuencia de alta estabilidad las frecuencias de 2.5, 5, 10, 15, 20, 25 MHz son emitidas en forma regular; para calibración y propósitos de control, también para observaciones de condiciones de propagación. Este grupo también incluye señal de tiempo transmitida la cual envía regularmente como dato el tiempo exacto con una señal de identificación reconocida, ésta señal es usada particularmente en radio marítimo.

g) Radio Amateurs (hams):

En todos los rangos de frecuencia de la banda están localizados los radio aficionados de onda corta. La tabla III.2.1. muestra las bandas de frecuencia en la región 2 asignada a los servicios individuales (Continente Americano).

Tabla III.2.1

Bandas de frecuencia para servicios de radio de onda corta (Radio regulaciones Genova 1982)

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de servicios Región 2
1605 a 1625	Radiodifusión
1625 a 1705	Radiodifusión Serv. Fijos Serv. Móviles Serv. móv. (Radiolocalización)
1705 a 1800	Serv. Fijos Serv. Móviles Radiolocalización Aeronáutica Radionavegación
1800 a 1850	Amateurs
1850 a 2000	Amateurs Serv. fijos Serv. móv. excepto aeronauticos.

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
	Radiolocalización y Radionavegación móv.
2107 a 2170	Serv. fijos Serv. móv.
2170 a 2173.5	Servicios marítimos, móviles
2173.5 a 2190.5	Servicios móviles
2190.5 a 2194	Servicios marítimos, móviles
2194 a 2300	Serv. fijos Serv. móv.
2495 a 2501	Frecuencia estandard y señal de tiempo (2 500 KHz)
2510 a 2502	Frecuencia estandard y señal de tiempo (investigación de espacio)
2505 a 2650	Servicios Fijos Servicios Móviles
2850 a 3025	Aeronáutica, móvil (R)
3025 a 3155	Aeronáutica, móvil (OR)
3155 a 3200	Servicios Fijos Servicios móviles excepto aeronáuti- ca, móvil (R)
3200 a 3230	Servicios Fijos Servicios móviles excepto aeronáuti- ca, móvil (R) Radiodifusión

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
3400 a 3500	Aeronáutica, móvil (R)
3500 a 3750	Amateur
3750 a 4000	Amateur Serv. fijos Serv. móv. excepto aeronáutica móvil
4000 a 4063	Servicios Fijos Marítimos, móviles
4063 a 4438	Marítimos, móviles
4438 a 4650	Servicios Fijos Servicios móviles excepto aeronáutica móvil (R)
4650 a 4700	Aeronáutica móviles (R)
4700 a 4750	Aeronáutica móviles (OR)
4750 a 4850	Serv. Fijos Serv. móv. excepto aeronáutica, móv. (R)
4850 a 4995	Radiodifusión Servicios Fijos Tierra, móvil, Radiodifusión
4995 a 5003	Frecuencia estandar y señal de tiempo (5000 KHz)
5003 a 5005	Frecuencia estandar y señal de tiempo (Investigación de espacio)

III.3 INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA ESTABLECER LA COMUNICACION

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
5005 a 5060	Servicios Fijos Radiodifusión
5060 a 5250	Servicios Fijos (Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil)
5250 a 5450	Servicios Fijos Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil
5450 a 5480	Aeronáutica móvil (R)
5480 a 5680	Aeronáutica, móvil (R)
5680 a 5730	Aeronáutica, móvil (OR)
5730 a 5950	Serv. Fijos Serv. móviles excepto aeronáutica, móvil (R)
5950 a 6200	Radiodifusión
6200 a 6225	Marítimos, móvil
6525 a 6685	Aeronáutica, móvil (R)
6685 a 6765	Aeronáutica, móvil (OR)
6765 a 7000	Servicios Fijos (Tierra móvil)
7000 a 7100	Amateurs Satélites Amateurs
7100 a 7300	Amateurs

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
7300 a 8100	Servicios Fijos (Tierra, móvil)
8100 a 8195	Servicios Fijos Marítimos, móvil
8195 a 8815	Marítimos, móvil
8815 a 8965	Aeronáutica, móvil (R)
8965 a 9040	Aeronáutica, móvil (OR)
9040 a 9500	Servicios Fijos
9500 a 9900	Radiodifusión
9900 a 9995	Servicios Fijos
9995 a 10003	Frecuencia standard y señal de tiempo (10,000 KHz)
10003 a 10005	Frecuencia standard y señal de tiempo (investigación de espacio)
10005 a 10100	Aeronáutica móvil (R)
10100 a 10150	Servicios Fijos (Amateurs)
10150 a 11175	Servicios Fijos (Servicios móviles excepto aeronáutica móvil (R))
11175 a 11275	Aeronáutica, móvil (OR)
11275 a 11400	Aeronáutica, móvil (R)
11400 a 11650	Servicios Fijos
11650 a 12050	Radiodifusión
12050 a 12230	Servicios Fijos
12230 a 13200	Marítimos, móvil

III.3 INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA ESTABLECER LA COMUNICACION

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
13200 a 13260	Aeronáutica, móvil (OR)
13260 a 13360	Aeronáutica, móvil (R)
13360 a 13410	Servicios Fijos Radio Astronomía
13410 a 13600	Servicios Fijos (Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil (R))
13600 a 13800	Radiodifusión
13800 a 14000	Servicios Fijos (Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil (R))
14000 a 14250	Amateurs Satélites Amateurs
14250 a 14350	Amateurs
14350 a 14990	Servicios Fijos (Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil (R))
14990 a 15005	Frecuencia estandar y señal de tiempo (15000 KHz)
15005 a 15010	Frecuencia estandar y señal de tiempo Investigación de espacio
15010 a 15100	Aeronáutica, móvil (OR)
15100 a 15600	Radiodifusión
15600 a 16360	Servicios fijos
16360 a 17410	Marítima, móvil
17410 a 17550	Servicios fijos
17550 a 17900	Radiodifusión

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
17900 a 17970	Aeronáutica, móvil (R)
17970 a 18030	Aeronáutica, móvil (OR)
18030 a 18052	Servicios fijos
18052 a 18068	Servicios fijos
18068 a 18168	Investigación de espacio
18168 a 18780	Amateurs
18780 a 18900	Satélites Amateurs
18900 a 19680	Servicios fijos
19680 a 19800	Marítima, móvil
19800 a 19990	Servicios fijos
19990 a 19995	Marítima, móvil
19995 a 20010	Servicios fijos
20010 a 21000	Frecuencia estandard y señal de tiempo (Investigación de espacio)
20010 a 21000	Frecuencia estandard y señal de tiempo (20000 KHz)
21000 a 21450	Servicios fijos
21450 a 21850	(Servicios móviles)
21850 a 21870	Amateurs
21870 a 21924	Satélites Amateurs
	Radiodifusión
	Servicios fijos
	Aeronáutica, Servicios fijos

III.3 INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA ESTABLECER LA COMUNICACION

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
21924 a 22000	Aeronáutica, móvil (R)
22000 a 22855	Marítima, móvil
22855 a 23000	Servicios fijos
23000 a 23200	Servicios fijos (Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil (R))
23200 a 23350	Aeronáutica, Servicios fijos Aeronáutica, móvil (OR)
23350 a 24000	Servicios fijos Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil
24000 a 24890	Servicios Fijos Tierra móvil
24890 a 24990	Amateurs Satélites Amateurs
24990 a 25005	Frecuencia standard y señal de tiempo (25,000 KHz)
25005 a 25010	Frecuencia standard y señal de tiempo Investigación de espacio
25010 a 25070	Servicios fijos Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil
25070 a 25210	Marítima, móvil

Banda de Frecuencias en KHz	Distribución de Servicios Región 2
25210 a 25550	Servicios fijos Servicios móviles excepto aeronáutica, móvil
25550 a 25670	Radio Astronomía
25670 a 26100	Radiodifusión
26100 a 26175	Marítima, móvil
26175 a 27500	Servicios fijos Servicios móviles excepto aeronáutica
27500 a 28000	Ayuda Meteorológica Servicios Fijos Servicios móviles
28000 a 29700	Amateurs Satélites Amateurs
29700 a 30005	Servicios Fijos Servicios móviles

(R) Servicios aeronáuticos requeridos continuamente.

(OR) Servicios aeronáuticos por solicitud.

III.3 INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA ESTABLECER LA COMUNICACION

III.3.1 OBRA CIVIL

III.3.2 ALIMENTACION ELECTRICA

III.3.3 ESTRUCTURAS

III.3.4 SISTEMAS DE TIERRA

Con el fin de operar un sistema de comunicaciones en condiciones que permitan obtener el mayor beneficio posible, es necesario considerar diferentes normas y recomendaciones; las cuales se refieren a aspectos de obra civil, instalación, protección, ubicación y operación del equipo de radio.

En este tema se genera recomendaciones en base a la experiencia en el uso de equipo de telecomunicaciones, las cuales reeditarán en una operación constante y confiable, así como una mejor conservación de los sistemas de radio.

III.3.1 OBRA CIVIL

Las obras civiles dentro de los sistemas de HF constituyen la infraestructura básica para alojar a los equipos.

Para propósitos de este trabajo definiremos tres tipos de construcciones:

- a) Estaciones Urbanas
- b) Estaciones Rurales
- c) Caseta de Servicios

a) Estaciones Urbanas. Son las ubicadas en el punto de conexión a la red telefónica pública.

Debera tener una ubicación adecuada dentro de la ciudad con respecto a la central telefónica, los distritos de distribución y a los servicios necesarios. Debe tener espacio suficiente para colocar al equipo de comunicaciones, alimentación y el propio para mantenimiento. El área mínima es de 2 m^2 y debera estar totalmente aislado de terceras personas, puede ubicarse casi en cualquier parte, (incluso) dentro del edificio de la central telefónica. En caso de elegirse un local ya construido éste debera contar con las facilidades mencionadas, con la seguridad de la no intervención de terceras personas.

Debe cuidarse la facilidad de estacionamiento y acceso directo para carga y descarga de material y equipo, espacio suficiente para erguir una torre, ya sea sobre la construcción o disponer de terreno suficiente. Por último contar con vigilancia y protección normal de una central telefónica.

b) Estaciones Rurales. Son las ubicadas en las áreas rurales. La necesidad de espacio es solo para el equipo de comunicaciones, de alimentación y si se requiere para el grupo electrógeno.

Podrá hacerse uso en ocasiones de instalaciones ya construidas y si ha de construirse, se destinara una área mínima de 2 m^2 para la sala de equipo, 2 m^2 para la sala de alimentación y de 3 a 5 m^2 para el cuarto de máquinas. En áreas rurales por lo general no hay límite de espacio para los sistemas de tierra, la torre o mástiles. Si el costo lo permite se construira una malla de acero o barda de mampostería con malla ciclónica y terminado de púas para evitar el paso de animales que puedan estropear las instalaciones; la construcción debera protegerse contra posibles actos de vandalismo y contra pequeños roedores o insectos y aves que buscan el calor generado por el equipo.

c) Caseta de Servicio. Este sera el espacio destinado a la prestación de servicio. En la caseta de servicio debera evitarse cualquier tipo de instalación eléctrica o de comunicaciones y solo habra una instalación telefónica utilizando para este fin una caseta de dimensiones reducidas.

Las dimensiones de la caseta varían de acuerdo al equipo utilizado de un área máxima de 1 m² a la mínima justo para albergar al usuario.

La idea de tener al equipo separado del área destinada para el servicio es el de garantizar al máximo la seguridad de los usuarios y la de los equipos; evitando accidentes conscientes o inconscientes que prodrían producir muertes por electrocución de alguna persona o la destrucción parcial o total del equipo por ignorancia, curiosidad natural o por accidente.

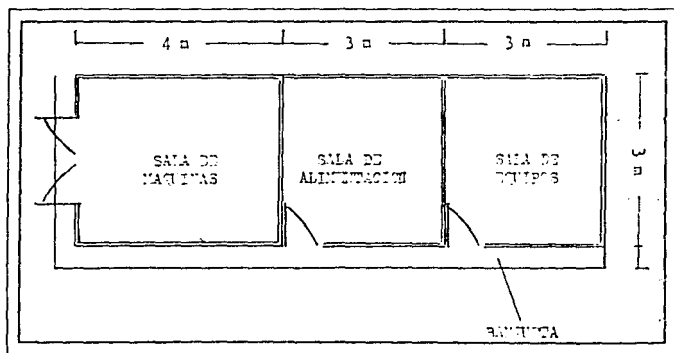


Figura III.3.1

III.3.2 ALIMENTACION ELECTRICA

El "Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas" en México recomienda y norma todo tipo de conexiones para evitar malos funcionamientos, incendios por no utilizar los conductores adecuados o por no proteger como es debido lo que se conecta.

En forma general las instalaciones eléctricas que se hacen para sistemas de comunicaciones se clasifican en:

- Instalaciones comerciales de corriente alterna para iluminación, servicio y energización del equipo.

- Instalaciones especiales para corriente directa y de baja tensión.

ALIMENTACION. Ya que los equipos electrónicos requieren de energía eléctrica, a continuación se hace una descripción de:

a) Energía Comercial

b) Reguladores

c) Baterías

d) Energía Autónoma (grupo electrógeno, turbinas, celdas solares, etc.)

a) Energía Comercial. Puede disponerse de ella en gran cantidad de poblaciones rurales a través de la Comisión Federal de Electricidad C.F.E. (que provee este servicio a nivel nacional). Las necesidades de consumo para los equipos de comunicación de HF son bajas, por lo que no se requiere utilizar subestaciones. La red comercial suministra 127 V monofásica en corriente alterna o 220 V trifásica.

Cuando se utiliza el servicio de la red comercial de suministro se requieren rectificadores y reguladores, mismos que pueden usarse en sistemas de energía autónoma cuando la fuente de energía es de corriente alterna y similar a la comercial.

b) Reguladores. Estos equipos se utilizan con el fin de mantener al mínimo la fluctuación de voltaje que es muy frecuente en el ambiente rural.

c) Baterías. Los bancos de baterías para sistemas rurales están formados por un conjunto de celdas de tipo plomo-acido o níquel-cadmio para proporcionar alimentación al equipo durante los cortes de energía.

Las baterías que se utilizan en los equipos rurales tienen que ser de tipo estacionario para servicio de telecomunicaciones las que difieren completamente de los tipos industriales o automotriz por los regímenes de carga y descarga a la que son sometidas.

En las localidades rurales, los cortes de energía son frecuentes y a veces prolongados, los bancos de baterías requeridos son de pequeña capacidad por lo tanto es recomendable utilizar baterías de níquel-cadmio aún cuando el costo es mayor. En las estaciones grandes es conveniente el uso de baterías estacionarias de plomo-acido por su larga duración y costo menor comparadas con las de níquel-cadmio.

Los bancos de baterías aún cuando se usan como fuentes de energía en caso de emergencia, también cumplen con la función de filtro, absorbiendo el ruido que produce el rectificador.

d) Energía autónoma. Cuando resulta imposible utilizar energía de la red comercial, existen cuatro tipos de fuentes de energía, con lo que puede resolverse este problema en localidades remotas o puntos de difícil acceso.

Dos utilizan combustible son el grupo electrógeno y turbina de ciclo cerrado de vapor; y dos utilizan energía natural, estos son generador eólico y celdas fotovoltaicas o solares.

1.- Grupo Electrónico. Consiste en máquinas o motores diesel o a gasolina que mueven a un alternador o un generador.

Los motores de gasolina deben ser descartados por el gran desgaste que sufren, el alto costo del combustible y sobre todo por ser muy volátil, flamable y difícil de almacenar con seguridad.

Las máquinas diesel con su alta eficiencia son muy utilizadas, sin embargo requieren de un mantenimiento estricto que se traduce en un alto costo.

2.- Turbinas de ciclo cerrado de vapor. La turbina mueve un generador de alta eficiencia y se producen voltajes de CD, lo que evita la compra de rectificadores.

El costo inicial es alto, pero su mantenimiento es sumamente sencillo, solo se reduce a limpiar las toberas por donde escapa el residuo de la combustión y los quemadores.

La vida útil es de hasta 20 años antes de requerir un cambio o reparación.

3.- Generadores eólicos. Estos generadores funcionan con la energía que produce el viento. En México su uso no está extendido, sin embargo si se combinan con celdas solares en sitios favorables por la presencia de vientos resulta atractivo para sistemas de comunicaciones rurales. En el mercado se consiguen generadores eólicos desde 100 a 5 000 Watts.

4.- Celdas solares. Las celdas fotovoltaicas son ideales para comunidades rurales donde el requerimiento de consumo es bajo y las condiciones de instalación ideales.

Las celdas se usan en conjunto con bancos de baterías como apoyo. Esta es una de las formas más eficiente para proveer con energía eléctrica a los equipos de comunicaciones en localidades rurales que carecen de red comercial, además su mantenimiento es prácticamente nulo. Los sistemas fotovoltaicos proporcionan energía en forma limitada por lo cual se requiere racionamiento energético y disciplina de utilización, además de costos de inversión inicial altos.

La capacidad del banco de baterías o acumuladores debe tener una autonomía de cinco días como mínimo.

III.3.3 ESTRUCTURAS

Para los sistemas de comunicaciones HF existen básicamente dos tipos de estructuras para soportar las antenas requeridas, estas son:

- a) Mástiles
- b) Torres

a) Mástiles. Son ampliamente utilizados con antenas que requieren baja altura ya sea por que no hay

obstáculos o simplemente la intensidad de campo de la señal que se recibe es la adecuada.

El uso de mástiles tiene las siguientes ventajas:

-Peso ligero.

-Fácil instalación.

-Area reducida para colocar la retenida.

-No requiere mano de obra calificada para su instalación.

b) Torres. En sistemas de comunicaciones se usan dos tipos de torres:

-Sección transversal triangular de 30 cm.

-Sección transversal triangular de 45 cm.

Existen fabricantes que proporcionan estructuras de acero e incluso de aluminio, estas ultimas deben ser descartados por su poca resistencia a vientos fuertes. Todas las torres deben terminar en su parte superior con una cúspide en la que debe instalarse un mástil de 1 m. para colocar la varilla pararrayos.

La pintura de las torres en secciones de color rojo o naranja y blanco será de acuerdo con las especificaciones del reglamento aeronáutico.

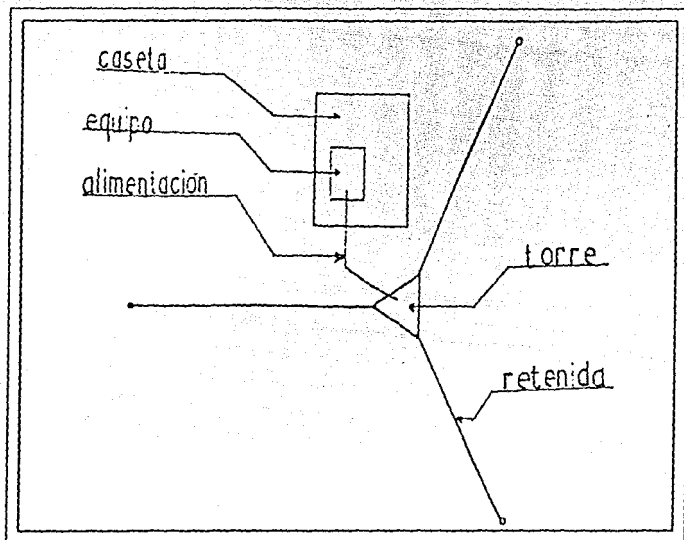


Figura III.3.2

III.3.4 SISTEMAS DE TIERRA

Todo equipo de comunicaciones debe tener un buen sistema de protección que garantice el buen funcionamiento del equipo, esto se conoce como sistema de tierra de servicio. Los sistemas de tierra son sobre todo adecuados para protección que garanticen la seguridad del personal, usuarios y equipo contra rayos o descargas atmosféricas.

Para el desarrollo de un sistema de tierra se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

-Protección personal.

-Naturaleza de las estructuras y equipos a proteger.

-Frecuencia y severidad de tormentas

-Resistencia de tierra, ésta depende en forma directa de la resistividad del suelo.

La descarga en una torre o mástil es aleatoria y dado que debemos mantener un aislamiento de 5 a 10 KVA, el valor de resistencia a tierra debe ser lo más bajo posible (idealmente menor a 1 ohm) se establecen los siguientes rangos.

0 a 5 ohms para estaciones urbanas.

0 a 10 ohms para estación rural y caseta de servicio.

Cuando la resistividad del suelo es alta, se utilizan los siguientes compuestos:

Carbón mineral pulverizado

Sulfato de magnesio

Sulfato de cobre

Sal Común

Carbón vegetal pulverizado

Cenizas de desechos orgánicos

Tierra con alto contenido de humus

El material conductor en sistemas de tierra se recomienda que sea de cobre por su baja resistividad y su alta resistencia a la corrosión, empero, el acero galvanizado que es muy resistente a la corrosión electrolítica también puede usarse.

Son preferibles varillas con electrodos de acero con capa de cobre (copperweld) en longitudes de 1.5 y 3 m que son comercialmente más fáciles de adquirir.

Para tomas de tierra se usan tres tipos de electrodos, varillas, anillos y mallas.

Para sistemas de malla de cobre el cable que forma el perímetro exterior debe cubrir o encerrar toda el área en que se encuentra la instalación del equipo como mínimo. Se recomienda que abarque un metro más del perímetro del área indicada.

En las estaciones rurales y urbanas se aterrizan todos los equipos de comunicaciones y alimentación.

III.4. INTERFACE CON LA RED TELEFONICA PUBLICA

III.4.1. REQUERIMIENTOS EN LA ESTACION URBANA.

III.4.2. REQUERIMIENTOS EN LA ESTACION RURAL.

III.4.3. CARACTERISTICAS DE LA INTERFACE CON LA RED TELEFONICA PUBLICA.

El sistema de onda corta HF se pretende que sea una alternativa a otros medios técnicos y se interconecte a la central telefónica, de la que los abonados del sistema rural son abonados remotos del mismo modo que se interconecta un abonado cercano o regular, es decir, a estos efectos el abonado interconectado via HF a la red telefónica pública aparece como un usuario más de la red.

La interface consiste de las siguientes partes:

a) Unidad de línea. En esta unidad se lleva a cabo el proceso de canal de voz donde esta comprendido todo el trayecto de la señal de voz desde el par de hilos (A y B) que entrega la central telefónica hasta la interface con el medio de enlace.

b) Unidad de señalización. Esta unidad realiza la interface de señalización que trata las señales de captura y manejo de la central telefónica, corriente de llamada, marcación, etc.

Una vez establecida la conexión la interface debe ser transparente a la señalización en banda de voz, por lo cual no es necesario su detección y tratamiento.

En la siguiente figura se muestran la formas en que se puede interconectar la estación rural a la red telefónica pública.

III.4. INTERFACE CON LA RED TELEFONICA PUBLICA

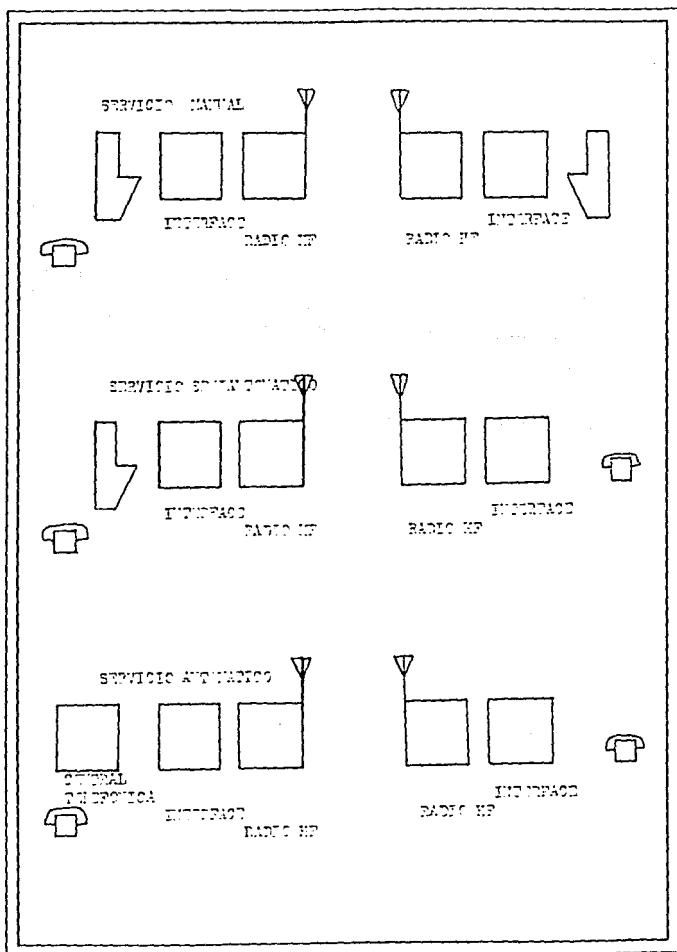


Figura III.4.1

III.4.1. REQUERIMIENTOS EN LA ESTACION

URBANA

La interface se instala normalmente en la central telefónica y sus funciones basicas son:

Adaptación a la linea de abonado.

Adaptación al medio de transmisión.

Desde el punto de vista eléctrico, la interface consiste de dos hilos el A y el B.

Debe ser capaz de discriminar entre tres condiciones de corriente directa entre los hilos A y B que proporciona la central telefónica estas son:

a) Libre. Se caracteriza por una resistencia de cero ohms a tierra en el hilo B.

b) Captura. Esta condición es cuando se tiene una misma resistencia entre A y B. A es el negativo (-48 Volts) y B el positivo (tierra).

c) Descolgado. Se caracteriza por la generación del tono de ocupado (aproximadamente 30 seg.) y un cambio de polaridad.

La condición real de la línea de abonado en sus diferentes condiciones se muestra en la siguiente tabla:

Condición de línea	Hilo A		Hilo B	
	Resistencia con respecto a tierra	Polaridad	Resistencia con respecto a tierra	Polaridad
Libre	1400 ohms	-	0 ohms	+
Llamada saliente	200 ohms	-	200 ohms	+
Llamada entrante	400 ohms	RGi	400 ohms	+

Tabla III.4.1

RGi = tierra física.

+ = tierra.

- = batería.

III.4.2 REQUERIMIENTOS EN LA ESTACION

RURAL

La interface simula hacia el aparato telefónico del abonado el funcionamiento de la central telefónica correspondiente y por lo tanto debe detectar el cuelgue y des-cuelgue del usuario; así mismo la interface debe proveer dos hilos A y B para el aparato telefónico así como un ancho de banda (300 Hz a 3400 Hz). La interface debe ser

capaz de generar el tono de ocupado y la corriente de llamada.

Las señales originadas por el aparato telefónico deben ser recibidas y convertidas por el modulo de interface a señales propias de ser enviadas por HF. Las señales requeridas son:

1.-Llamada origen

captura

información de dirección

señal de fin de conversación

2.-Llamada terminal

señal de contestación

señal de fin de conversación

1.-Llamada saliente. Cuando la llamada la origina un abonado rural la señalización se da según:

a. Captura. Se cierra el circuito con aplicación de corriente directa al aparato del usuario.

b. Marcación. Consiste en pulsos intermitentes de corriente directa o pulsos de multifrecuencia.

c. Fin. Se abre el circuito removiendo la corriente directa por un tiempo de 375 ± 75 mseg.

2.-Llamadas entrantes. Cuando la llamada termina en un abonado rural la señalización es.

a. Señal de llamada. Consiste de una señal de baja frecuencia que opera la campana del aparato.

b. Señal de contestación. Consiste en la aplicación de corriente directa al circuito del aparato cuando es llamado.

c. Fin. Se abre el circuito por el aparato del abonado por 375 ± 75 mseg.

III.4.3 CARACTERISTICAS DE LA INTERFACE CON LA RED TELEFONICA PUBLICA

Transmisión. Los equipos de referencia del teléfono que sirve de base para el cálculo de la distribución del equivalente de referencia nacional, deberá tener un valor nominal de + 3.5 dB en transmisión y - 5.5 dB en recepción con un efecto local de + 10 dB para alimentación de 48 VCD y 2 x 400 ohms. Para los equivalentes de referencia de transmisión y recepción los valores nominales serán para una línea de 1400 ohms. Para el equivalente de referencia de efecto local el valor indicado será para una línea de 0 a 1400 ohms.

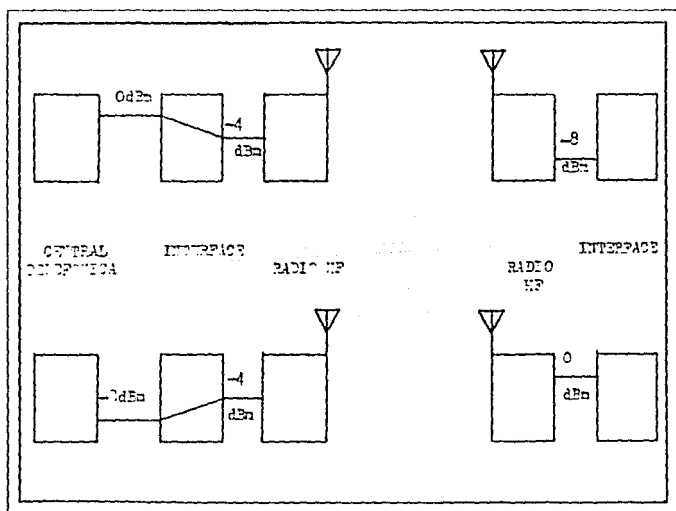


Figura III.4.2

Señalización. Las características principales son las siguientes: El equipo de interface del sistema rural debe permitir que la marcación de abonado que recibe pase a la red telefónica en forma de tren de pulsos para cada cifra marcada con un intervalo de tiempo entre cada tren de pulsos de 300 ms mínimo para que el equipo de control de la central pueda reconocer entre dos trenes o cifras. La velocidad de emisión de los trenes de pulsos debe tener una relación de 7 a 16 pulsos por segundo.

El teléfono de abonado puede utilizar disco dactilar o teclado digital para emitir los pulsos con la relación antes mencionada.

Cuando el aparato de abonado utilice multifrecuencia el equipo interface debe dejar pasar o producir la marcación de tal manera que la información numérica este compuesta por la emisión simultánea de dos frecuencias dentro de la banda de voz

frecuencias inferiores	697,770,850,941Hz
frecuencias superiores	1209,1336,1977,1633Hz

Frec(Hz)	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	reserva
770	4	5	6	reserva
852	2	8	9	reserva
941	*	0	#	reserva

La desviación entre cada frecuencia emitida y la frecuencia nominal debe ser menor al 1.8 %.

Los productos de distorsión (por intermodulación o armónicas) deben estar a un nivel cuando menos 20 dB debajo de las frecuencias fundamentales. Para las señales acústicas, la interface telefónica del sistema rural debe poder reconocer, interpretar o dejar pasar los tonos de información de condiciones del abonado llamado que proporcione la red telefónica (ocupado, llamando, etc.) que son de $425 \text{ Hz} \pm 10 \%$ con un nivel de potencia de -10 dB 0.5 dB.

La señalización de línea de abonado para el teléfono en estado libre (colgado) debe representar un circuito abierto o corriente continua. La interface debe interpretar a la central telefónica pública la toma de la línea mediante

el cierre del circuito de corriente continua a través de un máximo de 250 ohms.

Conmutación. De acuerdo a las necesidades y criterios de la red telefónica rural, la interconexión a la red pública debe hacerse en un punto donde se cuente con líneas de abonado en una central automática.

III.5. FACTIBILIDAD ECONOMICA

III.5.1 ANTECEDENTES SOCIOECONOMICOS.

III.5.2 ALTERNATIVAS.

III.5.3 EVALUACION ECONOMICA.

III.5.4 CONCLUSIONES.

Para implantar una red de comunicaciones de calidad adecuada, es necesario elaborar un estudio en el que se determine si es económicamente factible poder instalarla.

Las comunidades rurales necesitan contar con sistemas de comunicación sencillos y eficientes, aprovechando las tecnologías de vanguardia para satisfacer las necesidades de comunicación en el medio rural e incorporar este sector al desarrollo nacional

III.5.1 ANTECEDENTES SOCIOECONOMICOS

Para dotar a las zonas rurales de un sistema de comunicación, se requiere realizar estudios socioeconómicos de cada población y considerar las necesidades de infraestructura básica. Por lo tanto, es necesario conocer la situación actual en la que se encuentran las zonas rurales.

Para esto se deben de tomar en cuenta las siguientes cuestiones:

a) **EMPLEO EN EL MEDIO RURAL.** En el medio rural un alto porcentaje de la población económicamente activa (PEA) aproximadamente el 77% se dedica a las actividades primarias.

En las regiones agrícolas menos desarrolladas, como el Golfo y la península de Yucatán, el subempleo sobrepasa el 60% de la PEA.

Las actividades desarrolladas por el sector primario son de mayor importancia en cuanto a la ocupación de la población nacional, como se observa en la figura III.5.1.

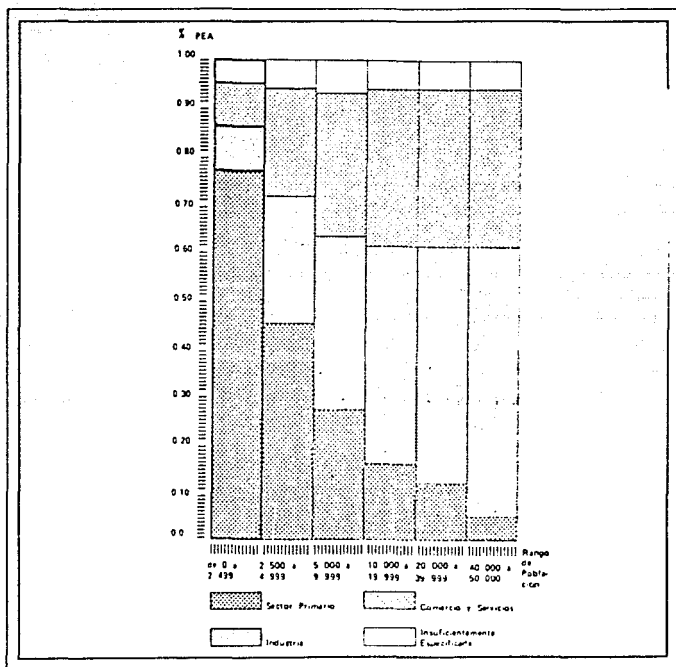


Figura III.5.1

Sector Primario: Agricultura, Ganadería, Silvicultura, Pesca y Caza.

Sector Industrial: Industria del Petróleo, Industria Extractiva, Industria de Transformación, Construcción, Generación y Distribución de la Energía Eléctrica.

Sector Servicios: Comercio, Transportes, Servicios y Gobierno.

b) ACTIVIDADES ECONOMICAS EN EL MEDIO RURAL. El crecimiento de la economía nacional se ha atribuido básicamente al desarrollo industrial. El sector primario ha contribuido a la economía nacional en una forma muy modesta.

Como consecuencia de esto, el medio rural ha sido el más afectado ya que un alto porcentaje de la PEA se dedica a las actividades primarias.

La importancia del sector primario en la PEA nacional se contrapone a la participación de ese sector al PIB (Producto Interno Bruto). En 1980, el sector agropecuario participó con el 40.3 % de la PEA y su aportación al PIB fue apenas 9.7 %. Como se observa en la figura III.5.2

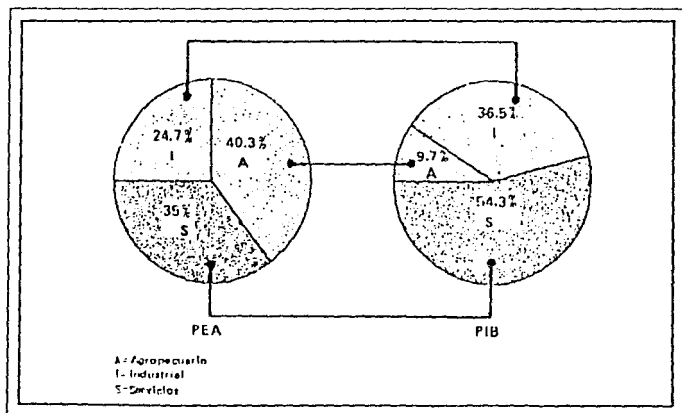


Figura III.5.2

Las principales actividades en las zonas rurales son las siguientes: Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca.

1.-AGRICULTURA. Las actividades más importantes de la agricultura es el cultivo del maíz, sorgo y trigo.

Los niveles de producción han disminuido debido al aumento de los costos de producción y a la falta de apoyo económico para actualizar las técnicas de cultivo y comercialización de los productos.

2.-GANADERIA. Las actividades más importantes de la ganadería es la cría de bovinos y porcinos así como la avicultura. En los últimos años se ha observado un lento crecimiento en el ganado ovino y caprino, debido al aumento en los precios de los forrajes.

3.-SILVICULTURA. En los últimos años se ha observado una disminución en los productos forestales (resinas, brea, hojas, ixtles y ceras vegetales).

La superficie forestal del país ha ido decreciendo considerablemente, debido a la tala excesiva, los incendios forestales y a la escasa reforestación.

4.-PESCA. La producción pesquera ha tenido un crecimiento muy inferior al esperado por el poco apoyo económico que ha tenido.

De las especies que se explotan comercialmente las más importantes son: camarón, sardina, atún y ostión.

Los principales problemas que afectan la industrialización de productos pesqueros son: La insuficiencia de crédito para capital de trabajo y el incremento en los costos en general.

Para el estudio socioeconómico, se ha dividido el territorio nacional en ocho zonas económicas diferentes a lo largo y ancho del país.

I) ZONA NOROESTE

Comprende los Estados de: Baja California Norte, Sonora, Nayarit, Baja California Sur y Sinaloa.

II) ZONA NORTE

Comprende los Estados de: Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí.

III) ZONA NORESTE

Comprende los Estados de: Nuevo León y Tamaulipas.

IV) ZONA CENTRO OCCIDENTE

Comprende los Estados de: Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato, Colima y Michoacán.

V) ZONA CENTRO-SUR

Comprende los Estados de: Querétaro, Hidalgo, México, Morelos, Tlaxcala, Puebla y D.F..

VI) ZONA PACIFICO SUR

Comprende los Estados de: Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

VII) ZONA GOLFO DE MEXICO

Comprende los Estados de: Veracruz y Tabasco.

VIII) ZONA PENINSULA DE YUCATAN

Comprende los Estados de: Campeche, Yucantán y Quintana Roo.

Se considera que la población rural es aquella que vive en localidades menores a los 2 500 habitantes.

En la Tabla III.5.1, se muestra el porcentaje de población urbana y rural, así como los sectores principales de la economía del país.

CONCEPTO	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV
POBLACION UR- BANA	67.2 %	58.6 %	82.1 %	65.1 %
POBLACION RU- RAL	32.8 %	41.4 %	17.9 %	34.9 %
CONCEPTO	ZONA V	ZONA VI	ZONA VII	Z O N A VIII
POBLACION UR- BANA	79.1 %	35.7 %	48.8 %	70.6 %
POBLACION RU- RAL	20.9 %	64.3 %	51.2 %	29.4 %
CONCEPTO	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV
SECTOR PRIMA- RIO	22.7 %	28.0 %	12.6 %	24.3 %
SECTOR INDUS- TRIAL	15.8 %	17.5 %	27.1 %	19.6 %
SECTOR SERVI- CIOS	30.5 %	25.8 %	34.4 %	23.1 %
NO ESPECIFICA- DO	31.0 %	28.7 %	25.9 %	33.0 %

CONCEPTO	ZONA V	ZONA VI	ZONA VII	Z O N A VIII
SECTOR PRIMARIO	17.6 %	52.6 %	37.9 %	31.2 %
SECTOR INDUSTRIAL	27.0 %	07.2 %	13.3 %	15.1 %
SECTOR SERVICIOS	33.1 %	23.8 %	27.2 %	25.6 %
NO ESPECIFICADO	31.0 %	28.7 %	25.9 %	33.0 %

FUENTE: Censo General de Población de 1980.

Tabla III.5.1

En la figura III.5.3, se muestra el Producto Interno Bruto (PIB) de los principales sectores económicos del país.

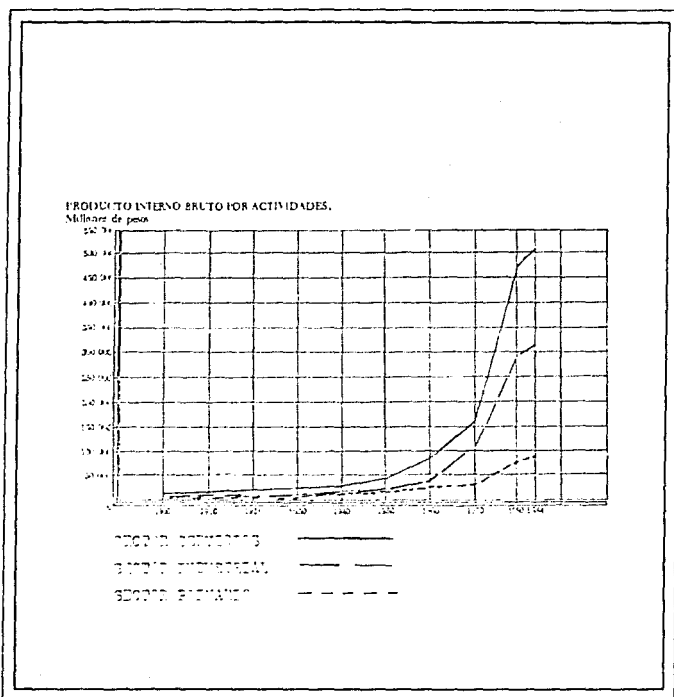


Figura III 5 3

1895-1979 millones de pesos de 1960.

1980-1984 millones de pesos de 1970.

En la tabla III.5.2, se muestra el salario mínimo diario general por zonas.

PERIODO	PROMEDIO SALARIAL NACIONAL	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV
1970	27.93	32.21	25.28	30.63	24.35
1975	55.24	60.39	44.61	60.61	50.49
1980	140.69	145.66	110.33	147.93	121.11
1985	1107.64	1136.00	1024.40	1018.13	1015.00

PERIODO	PROMEDIO SALARIAL NACIONAL	ZONA V	ZONA VI	ZONA VII	ZONA VIII
1970	27.93	25.52	23.01	26.95	24.51
1975	55.24	47.87	44.55	53.80	46.90
1980	140.69	127.16	119.18	134.68	119.47
1985	1107.64	1035.14	983.67	1061.25	983.67

FUENTE: Comisión Nacional de los Salarios Mínimos.

(PESOS DE 1985)

Tabla II.5.2

c) INDICADORES DE BIENESTAR SOCIAL. En los aspectos de educación y salud, el sector rural se ha quedado rezagado con respecto a las zonas urbanas, requiriéndose de grandes esfuerzos para cubrir sus deficiencias de bienestar social.

EDUCACION. En algunas zonas rurales el nivel de analfabetismo no ha descendido.

Los estados que cuentan con más analfabetas son: Guerrero, Oaxaca y Chiapas, por que en esta región del Sureste se tiene un alto porcentaje de población indígena.

Las entidades con menor porcentaje de analfabetas son: D.F., Nuevo León, Baja California Norte, Coahuila, Baja California Sur y Chihuahua. El nivel de educación en las zonas rurales es muy limitado, debido a que estas comunidades se encuentran muy apartadas y dispersas de las zonas urbanas y el Estado no cuenta con el presupuesto suficiente para proporcionar educación a estas comunidades. La Tabla III.5.3, muestra la población alfabeto y analfabeto en las diferentes zonas del país.

CONCEPTO	ZONA I		ZONA II		ZONA III		ZONA IV	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
POBLACION ALFABETA	59.9%	29.1%	51.3%	36.1%	75.3%	16.4%	52.7%	23.3%
POBLACION ANALFABETA	7.3%	3.5%	7.3%	5.1%	6.5%	1.5%	12.4%	6.6%

CONCEPTO	ZONA V		ZONA VI		ZONA VII		ZONA VIII	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
POBLACION ALFABETA	66.2%	18.0%	22.1%	40.8%	37.8%	39.7%	57.7%	24.0%
POBLACION ANALFABETA	10.9%	2.9%	11.0%	21.5%	11.0%	11.5%	12.9%	5.4%

FUENTE: Censo General de Población de 1980.

Tabla III.5.3

VIVIENDA. Se han incrementado los asentamientos irregulares en la periferia de las grandes ciudades, esto es debido a la marginación de las poblaciones rurales y al encarecimiento y falta de viviendas.

Los habitantes de las zonas rurales para tratar de satisfacer las necesidades de vivienda construyen de acuerdo a sus posibilidades y limitaciones económicas.

SALUD. Las unidades medicas del Sector Salud ubicadas en las zonas rurales no cuentan con el equipo

médico necesario para satisfacer las necesidades básicas en las comunidades.

Su actividad principal es la atención prenatal, maternidad y auxilios elementales de urgencias.

En el caso de localidades menores de 1 000 habitantes la atención médica es prácticamente nula.

Por lo visto anteriormente, el rezago del medio rural con respecto al urbano es muy marcado. Las necesidades de servicios y recursos básicos en las zonas rurales son muy grandes, ya que prácticamente las poblaciones rurales están casi olvidadas y hace falta un impulso en todos los sectores para poder incorporar estas comunidades al desarrollo integral del país.

La aportación del sector primario al PIB es muy reducida, por lo que es indispensable darle mayor impulso a este sector. Por lo tanto, es necesario proveer de comunicaciones a las comunidades rurales.

A continuación se muestran diferentes alternativas que proporcionan comunicación a las zonas rurales, con la intención de integrarlas al desarrollo general del país.

III.5.2 ALTERNATIVAS

Para solucionar el problema de las comunicaciones en el medio rural se comparan los diferentes sistemas que proporcionan este servicio a las zonas rurales.

A continuación se describen las características con las que cuentan estos sistemas que proporcionan comunicación a las zonas rurales, que son las siguientes: Línea Física, Radio Enlaces (VHF y UHF), Enlaces Vía Satélite y HF (Onda Corta). Por el reducido tráfico en el medio rural, los enlaces de mejor utilización son los de baja capacidad.

a) LINEA FISICA. Se emplea cuando la distancia es "corta" y existe infraestructura de caminos o se pueden construir brechas.

Este tipo de tecnología implica el uso de frecuencias portadoras para llevar por medio de la línea (mediante el uso de cable telefónico o sea un par abierto generalmente de aluminio calibre 8 AJCR) La frecuencia de voz mediante modulación DSB (doble banda lateral).

La calidad de transmisión es alta usando este sistema, para su instalación se requiere un nivel alto de mano de obra no calificada, las inversiones iniciales son medianas y los gastos de mantenimiento son altos.

El sistema tiene la desventaja de transmitir solo un canal telefónico. La tecnología de frecuencia portadora permite que el número de canales transmitidos por un circuito físico se eleve de 6 a 8 dependiendo del tipo de equipo, su capacidad y del plan de modulación.

Todas las líneas que se utilizan para frecuencias portadoras deben ser transpuestas (cambiar la posición de los conductores uno con respecto al otro) con el fin de evitar problemas y fenómenos de inducción y ruido. Se considera una atenuación de 0.75 dB/Km.

Este sistema se emplea para distancias menores a 13 Kms., ya que para distancias superiores los costos se incrementan considerablemente.

b) RADIO ENLACES (VHF Y UHF). Las características principales de este sistema son las siguientes:

1.- Multicanal. Generalmente se emplea para transmitir varios canales que se multiplexan, ya sea en frecuencia o en tiempo utilizando un par de frecuencias (Tx y Rx) en las bandas de VHF y UHF.

2.- Monocanal. Se conecta a nivel de aparato de abonado, solo proporciona un canal de radio con dos frecuencias y todo el tiempo permanece enlazado.

3.- Acceso Múltiple. Este sistema funciona mediante la operación compartida de canales de radio el cual es usado por varios abonados.

4.- Utiliza dos Bandas de Frecuencia. VHF (148-174 y 229-243 MHz) y UHF (406.1-420 MHz). Se emplea más la banda de VHF, debido a que su atenuación es menor y su alcance es mayor.

La calidad de transmisión es alta usando este sistema, la instalación es rápida, la inversión inicial es alta, un costo bajo por ampliar la capacidad del sistema los costos de mantenimiento son bajos.

Es indispensable que exista línea de vista entre la estación base de radio y las poblaciones a enlazar, de lo contrario se deben emplear repetidores pasivos en las poblaciones donde no exista línea de vista.

Este sistema se emplea para distancias medias comprendidas entre los 13 y 50 Kms. para distancias superiores se debe emplear repetidores activos.

c) SATELITE. Una estación terrena consiste fundamentalmente de una antena y los equipos de transmisión y recepción asociados para funcionar con el repetidor del satélite.

La calidad de transmisión es buena usando este sistema, se requiere de una inversión fuerte para la adqui-

sición de estaciones terrenas, los costos de mantenimiento son relativamente bajos con la desventaja que para su mantenimiento e instalación se requiere de personal calificado.

El equipo que se utiliza en el satélite para recibir una señal, amplificarla, cambiarla de frecuencia y retransmitirla, se le llama transponder.

Las frecuencias usadas en una enlace de satélite son 4/6 GHz (banda C) y 12/14 GHz (banda Ku).

Un transponder maneja hasta 24 canales de televisión con un ancho de banda de 36 MHz y en cada canal de televisión caben 960 canales telefónicos simultáneamente.

d) ONDA CORTA (HF). Una estación de HF consiste básicamente del equipo transmisor/receptor y antena.

La calidad de transmisión es buena usando este sistema, la instalación es rápida, la inversión es mínima, se requiere de mano de obra no calificada, los costos de mantenimiento son bajos, cuando se requiere incrementar la capacidad del sistema los costos son bajos.

En un enlace por HF, es de importancia primordial el cálculo de las frecuencias de operación ya que el medio de transmisión empleado es inestable (ionósfera).

Este sistema se emplea para lugares remotos y de difícil acceso, lo mismo cubre distancias grandes y pequeñas y no requiere de línea de vista.

En la siguiente tabla se muestra la características de las tecnologías propuestas.

SISTEMAS PARA TELEFONIA RURAL

SISTEMA	MANTENIMIENTO	VIDA UTIL	CALIDAD	COVER T U R A DEL ENLACE
LINEA FISICA	ALTO	25 AÑOS	ALTA	13 Kms.
VHF Y UHF	BAJO	20 AÑOS	ALTA	50 Kms.
SATELITE	MEDIO	8 AÑOS	ALTA	cubre todo el país
HF	BAJO	20 AÑOS	MEDIA	cubre todo el país
SISTEMA	CAPACIDAD	DISPONIBILIDAD	Inversión	
LINEA FISICA	1-8 CANALES	99 %	MEDIA	
VHF Y UHF	5 CANALES	98 %	ALTA	
SATELITE	4 CANALES	99 %	MUY ALTA	
HF	1 CANAL	81 %	BAJA	

tabla III.5.4

III.5.3 FACTIBILIDAD ECONOMICA

Los métodos tradicionales para la evaluación económica de un proyecto se dividen en dos grupos:

A) Los que no toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, período de pago y punto de equilibrio.

B) Los que explícitamente reconocen este fenómeno y se conocen como: Métodos de Flujo de Efectivo Descontado.

a) Flujo Anual Uniforme Equivalente (FA).

b) Relación Beneficio - Costo (B/C).

c) Tasa de Rendimiento (TR).

d) Valor Presente (VP).

La evaluación financiera para efecto de este trabajo se basa en el método del Valor Presente (VP).

Valor Presente: es la suma algebraica de los flujos de efectivo descontados. Matemáticamente se expresa como:

$$VP = \sum_{k=0}^n F_k (1 + i)^{-k}$$

i = tasa de interés por período.

n = número de períodos.

F = cantidad equivalente de dinero en el período n .

k = flujo de efectivo en años.

En la siguiente tabla se muestra la inversión que se requiere para implantar estos sistemas a una distancia de 100 Kms. Los costos estan en dolares.

DISTRIBUCION DE LA INVERSION

SISTEMA	OBRA CIVIL ²	EQUIPO ³	INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA ⁴	TOTAL
LINEA FISICA1	1 714	131 408	176 895	310 017
VHF Y UHF	4 116	60 500	24 644	89 260
SATELITE	5 143	127 736	55 188	188 067
HF	2 400	24 209	8 675	35 284

1.- Los costos son muy elevados, debido a que este sistema se debe emplear a distancias máximas de 13 Kms.

2.- Es el costo por alojar y operar el sistema.

3.- Es el costo del equipo necesario.

4.- Es el costo de los materiales y mano de obra a emplear en la instalación del sistema.

COSTOS DE OPERACION

SISTEMA	MANTENIMIENTO ⁵	OPERACION ⁶	CONCESION DEL MEDIO DE TRANSMISION ⁷
LINEA FISICA	24 664	3 755	0
VHF Y UHF	7 237	5 632	132
SATELITE	12 805	8 448	1 608
HF	2 302	3 755	132
SISTEMA	ENERGETICOS ⁸	TOTAL	
LINEA FISICA	92	28 511	
VHF Y UHF	118	13 119	
SATELITE	140	23 001	
HF	118	6 307	

NOTA: los costos de mantenimiento, operación, concesión del medio de transmisión y energéticos son anuales.

5.- Es el costo para mantener el servicio en buen estado.

6.- Son los costos asociados para operación del sistema.

7.- Es el costo por el derecho de conducción de señales.

8.- Es el costo por el suministro de energía eléctrica.

Tabla III.5.5

III.5.4 CONCLUSIONES

En el medio rural, las actividades económicas son reducidas, limitandose básicamente a las actividades primarias para autoconsumo, y los servicios son escasos comparados con el medio urbano.

Las comunicaciones son una herramienta importante de apoyo al desarrollo socioeconómico del medio rural, facilitando la comercialización de productos y la integración al resto del país. Los sistemas que requieren las zonas rurales son: Los de baja capacidad, los que operan en lugares remotos y de difícil acceso, los que abarcan grandes distancias y los de bajo costo.

La preferencia de una alternativa sobre otra es claramente establecida en función de la distancia. Para distancias grandes, solo existen dos alternativas: Satélite y HF (onda corta);

Si observamos la tabla III.5.5, los menores costos de inversión y operación corresponden al sistema de HF. Por lo tanto, es más viable esta alternativa.

La inversión que se realice en las zonas rurales tiene que ser lo más baja posible, pero sin sacrificar la calidad del servicio. Por lo tanto, el sistema de HF cumple con este objetivo y además tiene la capacidad de poder ampliarse tanto como las comunidades rurales vayan creciendo económicamente.

CONCLUSIONES GENERALES

En el presente trabajo se analiza la radiocomunicación por onda corta para determinar la factibilidad de la aplicación de ésta a las comunicaciones telefónicas rurales, obteniéndose las siguientes conclusiones:

Dado que las comunidades rurales (de hasta 500 hab.) en el país carecen casi en su totalidad (98%) de servicio telefónico, y que además en estas zonas las posibilidades económicas son limitadas, en el capítulo III se realizó una comparación entre diversas tecnologías (VHF/UHF, línea física, satélite y HF) y se encontró que es funcional y económicamente factible la aplicación de la onda corta para resolver, cuando es aplicable, el problema de la comunicación telefónica rural.

El punto clave en la aplicación de la onda corta a la telefonía rural es la determinación de las frecuencias de operación ya que además que el rango disponible es limitado (3 a 30 MHz), las frecuencias dependen de parámetros constantemente cambiantes. Esta variación de condiciones se presenta cuando se emplea la propagación por onda de cielo de la HF.

En la propagación de la onda de cielo interviene la ionósfera (principalmente las capas E y F) como medio primordial de transmisión.

La formación y comportamiento de la ionósfera depende entre otros factores de la actividad solar que está relacionada con el número de manchas solares, cuyo comportamiento es cíclico con una duración de 11 años. Esto hace que el cálculo de las frecuencias de operación se dificulte. De esta manera para un radio-enlace las frecuencias varían con la hora del día, con la estación del año, con las distancias a cubrir y con la ubicación geográfica de los puntos a comunicar. Tradicionalmente se aplicaban métodos analíticos para el cálculo de las frecuencias de operación, punto clave para la comunicación por onda corta. Sin embargo, en este trabajo se dió un tratamiento diferente basado en el empleo de nomogramas. De esta forma se determinan de una manera más fácil y directa las frecuencias de operación.

Para que la radiotelefonía rural por onda corta tenga una cobertura mayor, en el trabajo se indican los lineamientos para incorporar este servicio a la red telefónica nacional. Así resulta posible el establecimiento de conferencias de larga distancia, empleando la red telefónica, a través de una estación remota de onda corta.

Además de la radiocomunicación telefónica de voz se estableció en el presente trabajo que es posible proporcionar otros servicios por onda corta, tales como: Telegrafía, facsímil, teleimpresión y transmisión de datos. Estos servicios se pueden agregar conforme las poblaciones rurales crezcan y los requieran.

Nuestra recomendación, resultado del trabajo, es apoyar la aplicación de la onda corta para satisfacer las necesidades de comunicaciones en comunidades rurales apartadas. Observamos que la onda corta es una tecnología económica y factible de aplicar en estas zonas, además la comunicación puede coadyuvar a la integración de tales comunidades y contribuir a su desarrollo social y económico.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

A W Rudge K Milue & A D Oliver P. Kurght, The Handbook of Antenna Design Vol. 2,

Belotserkovski, Fundamentos de Antenas, Boixareu editores, Marcombo, S.A., 1977.

Blast-II Communications Concepts Communications Research Group, Inc. Copyright 1988 Manual # 101. 6/10/88.

Collocott T.C./Dobson A.B., Dictionary of Science and Technology, Reino Unido, W & R Chambers, 1981.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia, ICYT Revista Mensual de Información Científica y Tecnológica, junio 1988 vol. 10 # 141.

Dezettle Louis M., Introduction to Antennas, E.E.U.U., Radio Shack, 1974.

Dirección General de Telecomunicaciones, Plan Nacional de Telefonía Rural, SCT, 1979.

Gerhard Braun, Planning and Engineering of Short-wave Links Second Edition, Siemens Aktiengesellschaft, John Wiley and Sons 1986.

Hamsher H. Donald, Communication System Engineering Handbook, Mc. Graw Hill, 1967.

Bibliografía

Haykin Simon, Communication Systems, E.E.U.U.,
Mc. Master University, John Wiley & Sons, 1978.

Helms Harry L., Shortwave Listening Handbook,
E.E.U.U., Prentice-Hall Inc., 1987.

Herbert Friedman, The Science of Global Change,
an overview. Symposium en Global Change of the 20th
General assembly of the International Council of Scientific
Unions September 25, 1984, Ottawa, Canada,

Herbert Friedman, Solar-Terrestrial Relationships
and the Earth Environment in the Last Millennia, Inter-
national School of Physics " Enrico Fermi", Villa Monas-
tero Varenna curso XCV (95), 1986.

How Things Work, Vol. 1 y 2, Reino Unido, Granada,
1980.

INEGI, Estadísticas Historicas de México. Tomo I,
1986.

J.A. Ratcliffe, An Introduction to the Ionosphere and
Magnetosphere, Cambridge at the University Press,
1972.

Jasik, Antenna Engineering Handbook.

Johnk T. Carl, Teoría Electromagnética, LIMUSA,
1988.

Jordan C. Edward y Balmain G. Kerth, Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes, España, Paraninfo, 1978.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. Vol. 49, Advisory Board, 1987.

Kreimerman Norma, Métodos de Investigación para Tesis y Trabajos Semestrales, México Fac. de Filosofía y Letras, UNAM, 1975.

Lopez Leautaud José, Evaluacion Económica, Mc. Graw-Hill, 1975.

María José Salmerón D., Radiación Propagación y Antenas, Ed. Trillas.

Miya K., Satellite Communications Engineering, Japon, Lattice Co., 1975.

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration Enviromental Data and Information Service, Solar Terrestrial Physics Services and Publications 1979, Boulder, Colorado 80303.

Peter N Saveskie, Radio Propagation Handbook, 1980 June.

Proyecto PEMEX-IMP., Transmisión por H.F. entre 18 estaciones (pozos petroleros, barcos y agencias) corres-

ponales situadas en la Republica Mexicana. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Depto de Ingeniería Eléctrica.

Reitz/Milford/Christy, Fundamentos de la Teoria Electromagnética, México, Addison-Wesley Iberoamerica, 1986.

Roger L. Freeman, Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones, LIMUSA Noriega Editores 1989, Primera Edición.

Taub H., Schilling D.L., Principles of Communication Systems, E.E.U.U., Mc. Graw Hill-Kogakusha Ltd., 1971.

The American Radio Relay League ARRL, The Radio Amateur's Handbook, E.E.U.U., ARRL, 1978.

Traister Robert J., The Shortwave Listeners Antenna Handbook, E.E.U.U., Tab Books Inc., 1982.

Velázquez Gallo Espinoza, Ciencias Sociales I, Publicaciones Culturales, 1987.

World Radio TV Handbook, Ed. 1985, 1987 y 1990, Holanda, Billboard A.G.

Yonezawa Shigeru, Microwave Communications/System Design and New Equipment Japon, Maruzen Co., 1973.

APENDICE

EJEMPLO:

**TRANSMISION IONOSFERICA DE ONDAS ELEC-
TROMAGNETICAS EN LA BANDA DE ALTA FRE-
CUENCIA DE 3 A 30 MHz**

De:

MANZANILLO, COLIMA

a:

MAZATLAN, SINALOA

PARA DETERMINAR UNA TRAYECTORIA DE ONDA CORTA SE CONSIDERAN LOS SIGUIENTES PASOS:

a) Calcular la distancia entre los dos puntos terminales del enlace.

b) Determinar la dirección en la cual las antenas transmisora y receptora serán colocadas.

c) Determinar los ángulos óptimos de elevación de las antenas transmisora y receptora de modo que originen un número mínimo de saltos a través de la ionósfera.

d) Determinar las bandas de frecuencias utilizables, se debe emplear como base la propagación a través de las capas E ó F2. De tal forma que para un enlace de salto único se emplea la longitud de la trayectoria de propagación y para enlaces de saltos múltiples la distancia que puede ser cubierta en un salto, de acuerdo con el inciso c).

e) Calcular la intensidad de campo alcanzada en el punto receptor ó la atenuación del trayecto; se emplea en este cálculo los ángulos de elevación y las bandas de frecuencias utilizables para una potencia transmisora de 0 dB de ganancia (valor normalizado).

f) Determinar la potencia de transmisor y la ganancia que requiere la antena para operar y tener una relación señal a ruido apropiada al tipo de emisión.

g) Determinar la disponibilidad de la trayectoria; este punto cobra una prioridad especialmente alta si por ejemplo por restricciones de instalación, la potencia del transmisor y ganancia de la antena no pueden ser logrados, de acuerdo con los cálculos para operación permanente.

Cálculos.

Para un enlace entre Manzanillo, Col. y Mazatlán, Sin.

a)

coordenadas geográficas de las estaciones.

estación A

estación B

Manzanillo, Col.

Mazatlán, Sin.

19°3' 15" N

23°11' 55" N Latitudes

104°19' 46" O

106°25' 20" O Longitudes

Se toma la ecuación II.3.1 para el cálculo del ángulo del arco de la trayectoria entre las estaciones.

$$\cos D = \sin A \sin B + \cos A \cos B \cos \Delta L \quad (\text{II.3.1})$$

$\Delta L =$ diferencia de longitudes.

$$106^{\circ}25'20''$$

$$104^{\circ}19'20''$$

$$2^{\circ}06'00''$$

$$D = \arccos(0.3264 * 0.3939 + 0.9452 * 0.9191 * 0.9993)$$

$$D = \arccos(0.9968)$$

$$D = 4.5809$$

de la ecuación II.3.4 obtenemos la distancia en Km

$$DK_m = 111.11 * D = 508.89 \text{ Km.}$$

$$DK_m = 508.89 \text{ Kms.}$$

b)

Dirección:

A \longrightarrow B de la ecuación II.3.2

$$\text{COS B SEN } \Delta L$$

$$\text{SEN } C_{A-B} = \frac{\text{COS B SEN } \Delta L}{\text{SEN D}}$$

$$\text{SEN D}$$

$$\text{SEN } C_{A-B} = 1.9294 = 1^{\circ}55'45.8'' \approx 1^{\circ}55'46''$$

B \longrightarrow A de la ecuación II.3.3

$$\text{COS A SEN } \Delta L$$

$$\text{SEN } C_{B-A} = \frac{\text{COS A SEN } \Delta L}{\text{SEN D}}$$

$$\text{SEN D}$$

$$\text{SEN } C_{B-A} = 0.685289 = 0^{\circ}41'07''$$

c) Empleando las figuras II.3.2 y II.3.3 obtenemos los valores de las alturas de las capas y ángulos de

elevación los valores se muestran en la forma B.

d) La determinación de las bandas de frecuencia se hace como se describe en el capítulo I.4 en conjunto con las cartas de predicciones ionosféricas cuyos valores se presentan en la forma A.

e) El cálculo de pérdidas se hace con la ayuda de las figuras II.4.3, II.4.4, II.4.5, II.4.6 y II.4.7, los resultados se presentan en la forma C.

f) La potencia de Ruido en el punto receptor se calcula con la ecuación II.2.5 y las figuras II.2.3, II.2.4, II.2.5 y II.2.6. Para el caso de la radiotelefonía el ancho de banda que se recomienda es de 3 KHz. Los resultados de estos cálculos se presentan en la forma C, junto con los valores obtenidos de la ecuación II.2.7 de la potencia mínima de la señal en el receptor con una relación señal a ruido dada para radiotelefonía de la tabla II.2.1.

g) La potencia requerida en el transmisor se obtiene de la P_e más las pérdidas del sistema cuyos resultados se presentan en la forma C.

PROYECTO: TRANSMISION IONOSFERICA Y TERRESTRE DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS
EN LA BANDA DE ALTA FRECUENCIA DE 3 a 30 MHz.

FORMA A

Estación transmisora A HUAYAVILLO, COL. Coordenadas 106°19' AC" Longitud 199°1' 15" Latitud
Estación receptora B MAZATLAN, S.N. Coordenadas 106°25' 20" Longitud 239°11' 55" Latitud
Longitud de la trayectoria 500.00 Km Mes/Estación JUN 10/VERANO
Dirección de la transmisión de A a B 1°55' 46" y de B a A 0°41' 7"
Número de manchas solares P = 100

1 TIEMPO	2 ANGULO CENTRAL θ	3 E J F (3000)F	4 E J F (4000)F	5 E J F (10)F2	6 E J F (4000)F2	7 E J F (4)F2	8 F O T (4)F2 0.85x(7)	9 E J F (4) VALOR SUPERIOR ENTRE(4)(7)	10 F O T (4) VALOR SUPERIOR ENTRE(4)(7)
UT	GRADOS	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz
00 ⁰⁰	137	----	----	8	23	3.5	7.22	3.5	7.22
02 ⁰⁰	130	----	----	7.1	21	7.9	6.71	7.9	6.71
04 ⁰⁰	109	----	----	6.5	19	7.1	6.03	7.1	6.03
06 ⁰⁰	85	9.3	4.2	5.3	17	6.2	5.27	6.2	5.27
08 ⁰⁰	57	15.3	6.7	7.6	23	3.2	6.97	3.2	6.97
10 ⁰⁰	30	18.2	7.7	8.5	24	9.2	7.32	9.2	7.32
12 ⁰⁰	0	19.1	3	9.5	27	10.2	8.67	10.2	8.67
14 ⁰⁰	27	18.5	7.9	11	31	11.0	10.11	11.9	10.11
16 ⁰⁰	55	16	6.7	10.5	32	11.3	10.03	11.3	10.03
18 ⁰⁰	92	10.6	4.4	10.5	32	11.3	10.03	11.3	10.03
20 ⁰⁰	107	----	----	9.5	29	10.1	9.53	10.1	8.58
22 ⁰⁰	127	----	----	9.2	24	9.1	7.73	9.1	7.73

Apéndice

B-7

**PROYECTO: TRANSMISION IONOSFERICA Y TERRESTRE DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS
EN LA BANDA DE ALTA FRECUENCIA DE 3 a 30 MHz.**

FORMA B

1) Datos generales de la trayectoria.

1.1, 1.2) Estación Transmisora A MANZANILLO, COL. Coordenadas 104°10'46" Longitud 19°3'15" Latitud

Estación Receptora B MAZATLAN, SIN. Coordenadas 106°25'20" Longitud 23°11'55" Latitud

1.3, 1.4) Longitud de la trayectoria 503,39 Km. Mes/Estación JUL 10/VERANO

Dirección de la transmisión de A a B 1°55'46" y de B a A 0°47'7"

1.5) Numero de manchas solares R = 100

1.6) Frecuencia en el punto medio de la trayectoria 1.2 MHz.

1.7) Tipo de superficie donde se refleja la onda en tierra -----

2) Datos técnicos de la trayectoria

B-8

Tiempo	00° - 04°	04° - 08°	08° - 12°	12° - 16°	16° - 20°	20° - 24°	U.T.
2.1) Frecuencia de operación	5.65	6.00	6.72	10.03	11.15	12.15	MHz
2.2) Altura de la capa	265	260	365	300	275	275	Km
2.3) Angulo de elevación θ para $M(3000)F_2$	50	50	50	50	50	50	Grados
2.4) Numero de saltos n	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	
2.5) Reflexiones en tierra n-1	0	0	0	0	0	0	
2.6) Grado de ruido en el receptor	72	63	54	63	72	72	dB
2.7) Factor de ruido de la antena Fam.	56	40.2	33.3	40	40.1	40.1	dB/Hz

2.8) Clase de emisión R3E

2.9) Relación Señal/Ruido de radio HF requerida 49 dB/Hz.

Apéndice

FORMA C

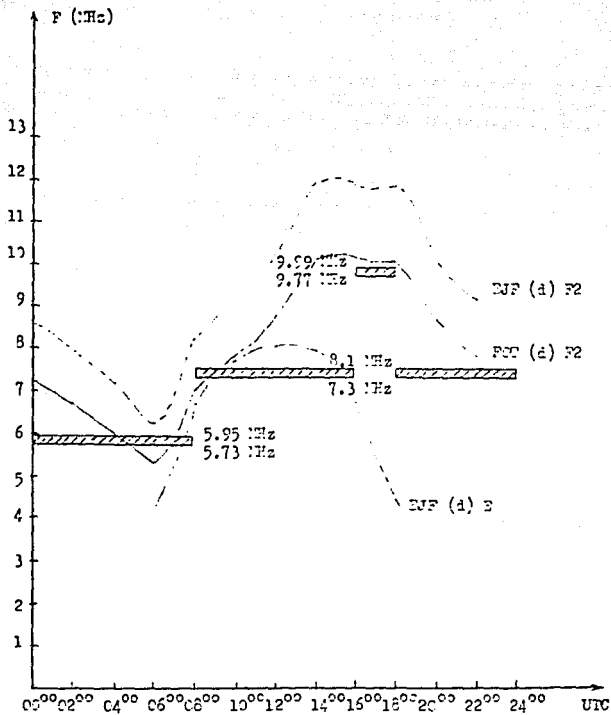
Perdidas totales L_{Syst} .

Perdidas en la fase de $f + f_H$			Perdidas totales L_{Syst} .					
Tiempo	I	$f + f_H$ MHz	Tiempo	L_{Ff} dB	L_1 dB	L_B dB	Y_F dB	L_{Syst} dB
00 ⁰⁰	0	7.95	00 ⁰⁰	107	0		14	122
02 ⁰⁰	0	7.95	02 ⁰⁰	103	0		14	122
04 ⁰⁰	0	7.95/7.29	04 ⁰⁰	103/107	0		14	122/121
06 ⁰⁰	0.25	7.29	06 ⁰⁰	107	4		14	125
08 ⁰⁰	0.76	7.29/9.92	08 ⁰⁰	107/110	11.7/6.8		14	133.7/130
10 ⁰⁰	1.10	9.92	10 ⁰⁰	110	10.1		14	134.1
12 ⁰⁰	1.38	9.92	12 ⁰⁰	110	12		14	136
14 ⁰⁰	1.22	9.92	14 ⁰⁰	110	10.1		14	134.1
16 ⁰⁰	0.9	9.92/11.23	16 ⁰⁰	110/112	6.2/5.1		14	130/131
18 ⁰⁰	0.31	11.23/9.35	18 ⁰⁰	112/110	2/2.9		14	123/127
20 ⁰⁰	0	9.35	20 ⁰⁰	110	0		14	124
22 ⁰⁰	0	9.35	22 ⁰⁰	110	0		14	124

Resultados: Relación señal a ruido de radio S/N, Potencia transmisora y ganancia de las antenas

Tiempo	P_0 dBm	P_1 dBm	P_2 dBm	S/N dB Hz ⁻¹
00 ⁰⁰	-65.23	-113.23	56.77	43
02 ⁰⁰	-65.23	-113.23	56.77	49
04 ⁰⁰	-65/-72	-113/-120	56/49	48
06 ⁰⁰	-72	-120	49.97	43
08 ⁰⁰	-72/-92	-120/-130	49/49	49
10 ⁰⁰	-92.43	-130.43	47.77	43
12 ⁰⁰	-92.43	-130.43	47.77	49
14 ⁰⁰	-92.43	-130.43	47.77	48
16 ⁰⁰	-92/-73	-130/-120	43/55	43
18 ⁰⁰	-73/-72	-120/-120	53/55	48
20 ⁰⁰	-71.93	-119.93	51.97	48
22 ⁰⁰	-71.93	-119.93	51.97	43

FIGURA 1



CONCLUSIONES:

Los datos para el enlace entre Manzanillo, Col. y Mazatlán, Sin. son 508.89 Km. el enlace entra en la categoría de servicios fijos de acuerdo a C.C.I.T.T. El cálculo de las bandas de frecuencia utilizables se hace para el mes de julio considerando el número de manchas solares $R_{12} = 100$.

El punto de Control y los puntos a enlazar están en el mismo uso horario.

La trayectoria se encuentra en la región 2

Requerimientos Básicos.

Ver capítulo I tema 4 y ver capítulo II tema 3.

Resultados.

Las bandas de operación se obtienen utilizando la tabla A y la figura 1 y considerando la tabla II.2.1 obtenemos:

0:00 a 8:0	05.95 a 5.73 MHz.
8:00 a 16:00	7.3 a 8.1 MHz.
16:00 a 18:00	9.99 a 9.77 MHz.
18:00 a 24:00	7.3 a 8.1 MHz.

Los cambios de frecuencia se dan a las:

8:00, 16:00, 18:00 y 24:00 horas.

La propagación se lleva a cabo en la capa F2 con un ángulo de elevación 50°

Usando un transmisor de onda corta de 1 Kw de potencia y antenas dipolos de 2 dB_i de ganancia en la estación transmisora como en la estación receptora.

El cálculo de la radio trayectoria nos muestra los resultados siguientes:

- Las condiciones de propagación durante el período considerado se caracteriza por la actividad de la capa F2, durante todo el día.

- Debido a la distancia entre estaciones se requiere de un salto.

- La atenuación debido a la capa D es mínima, debido a que solo se requiere un salto.

- El valor nominal de la señal a ruido es de 48 dB, pero varía en los períodos de cambio de frecuencia.

GLOSARIO

Absorción:

Es la pérdida de energía que sufre la onda de cielo en su trayectoria por la ionósfera.

Angulo Cenital del Sol:

Arco que mide la distancia entre el Sol y el meridiano del observador.

Angulo de Elevación de la Radiación:

Angulo con respecto al plano de la tierra con el cual se emite una onda de radio.

Atenuación:

Es la pérdida de intensidad de la señal entre el transmisor y el receptor.

Auroras Boreales y Australes:

Es una ionización excesiva de las capas que circundan el casquete polar, y que dan un efecto muy característico parecido a un resplandor de colores en movimiento.

dBm:

Decibeles arriba o abajo de 1 mW (+/-dBm). Un nivel de potencia de 1 mW es igual a 0 dBm.

dBr:

Utilizado para referir el nivel de la señal en cualquier punto de un sistema transmisor a un punto arbitrariamente seleccionado en el sistema, conocido como punto de nivel relativo cero.

dBw:

Decibeles arriba o abajo de 1 Watt.

Dispersión:

Descomposición de un movimientos complejo en ondas separadas.

Efecto Dellinger:

En la capa D se produce una ionización tan intensa que las ondas de radio se absorben y se interrumpe la radiocomunicación por períodos de unos minutos hasta algunas horas.

Fotósfera:

Zona luminosa y más interior de la envoltura gaseosa del Sol.

Frecuencia Crítica (Fc):

Es la Frecuencia más elevada que será reflejada en una capa con una incidencia vertical.

Frecuencia Optima de Trabajo (FOT):

Es 15 % menor que la MUF.

Ionización:

Proceso mediante el cual los fotones de las radiaciones solares interactúan con las moléculas del aire y originan como consecuencia electrones libres e iones cargados positivamente.

Ionograma:

Es un esquema fotográfico que nos permite deducir frecuencias críticas o de penetración de las zonas ionosféricas así como su correspondiente altura.

Mancha Solar:

Area oscura en la superficie gaseosa del sol por encontrarse a menor temperatura que el área circundante.

Máxima Frecuencia Utilizable (MUF):

Es la máxima frecuencia que puede reflejar una capa con una incidencia oblicua.

Onda Plana:

Onda que en un instante dado, presenta la misma fase para todos los puntos de cada plano perpendicular a alguna dirección específica.

Plasma Solar:

Emanación de partículas constituidas principalmente por protones y electrones.

Ráfaga:

Movimiento violento y súbito.

Recombinación:

Proceso mediante el cual electrones libres se combinan con iones positivos para generar partículas neutras.

Reflexión:

Se produce cuando una onda electromagnética propagándose en un medio incide en otro que tiene distintas constantes dieléctricas.

Refracción:

Cambio de dirección de la onda electromagnética que pasa oblicuamente de un medio a otro de diferentes constantes dieléctricas.

Onda Plana:

Onda que en un instante dado, presenta la misma fase para todos los puntos de cada plano perpendicular a alguna dirección específica.

Plasma Solar:

Emanación de partículas constituidas principalmente por protones y electrones.

Ráfaga:

Movimiento violento y súbito.

Recombinación:

Proceso mediante el cual electrones libres se combinan con iones positivos para generar partículas neutras.

Reflexión:

Se produce cuando una onda electromagnética propagándose en un medio incide en otro que tiene distintas constantes dieléctricas.

Refracción:

Cambio de dirección de la onda electromagnética que pasa oblicuamente de un medio a otro de diferentes constantes dieléctricas.

Ruido Atmosférico:

Es el ruido que tiene su fuente de generación en la atmósfera, debido a las descargas electrostáticas en la atmósfera (tormentas, fuertes lluvias, nevadas y tormentas de arena).

Ruido Cósmico:

Es el ruido que tiene su fuente generadora en el espacio.

Tiempo Universal Coordinado:

Es el tiempo medio local en el meridiano de Greenwich (longitud cero).

Viento Solar:

Flujo de partículas que el sol emite radialmente en todas direcciones.