

CAPÍTULO 4

PROPAGACION DE LAS ONDAS EN LAS DIFERENTES BANDAS DE FRECUENCIA

4.1 Propagación en la Banda LF (30KHz a 300KHz).

A esta parte del espectro se le denomina también onda larga. Una pequeña porción de la banda de bajas frecuencias (LF) que va de 30 KHz hasta 300 KHz es usada básicamente para navegación aeronáutica y marina. Este rango de frecuencias es afectado en gran medida por el ruido e interferencia ocasionado por la atmósfera. Debido a la longitud de onda de esta frecuencia del espectro se encuentran antenas de tamaños ineficientes, es decir, de gran tamaño lo que hace que no puedan ser utilizadas de manera cómoda, portátil y comercialmente,

además tienen un ancho de banda reducido, por lo general se usan transmisores de alta potencia con estos mismos arreglos.

La componente superficial de la onda de tierra es usada con éxito para comunicaciones a grandes distancias y para la navegación. Su Propagación se realiza por onda de tierra, presentando una atenuación débil, pero tiene características poco estables. Durante el día su propagación es mucho menos ventajosa de qua causa de la absorción.

Como se mencionó anteriormente, la onda de tierra se propaga por la discontinuidad tierra aire debido a la especie de guía dieléctrica producida por la tierra sobre los campos que se radian desde las antenas y que su ves estas se encuentran fijas al plano de tierra, pero cabe señalar que este modo de propagación únicamente se puede utilizar para polarización vertical la cual presenta mucho menos atenuación que la horizontal. En contra parte de estas ventajas debemos de tomar en cuenta la absorción del suelo y la dispersión que ocasiona la curvatura de la tierra, por lo que presenta fuerte interferencia atmosférica, además de utilizar la ionósfera como guía de onda para facilitar su propagación a largas distancias.

Ahora bien, el uso más común de las frecuencias más altas de esta parte del espectro radioeléctrico es la transmisión en la porción de AM que corresponde a las frecuencias ubicadas entre 535MHz-1,705MHz. También se utilizan en su mayor parte por radio faros o radio balizas (beacon) que sirven para identificar hitos de navegación tanto aérea como marítima. Su potencia puede variar de 25 W a 4 KW y su rango de frecuencias va desde 180 KHz y hasta el principio de la banda de onda media MF. Su identificación se realiza

mediante la emisión en Telegrafía Modulada que transmite dos o tres letras, que designan en forma abreviada al nombre del sitio o localidad donde se encuentra instalado el Radio Faro.

Compartiendo este lugar con los radiofaros, se encuentran las emisoras de radiodifusión (broadcasting) de onda larga, por lo general transmiten con gran potencia. Desde hace muchos años esta banda ha dejado de ser una banda de radiodifusión importante y fuera de Europa es utilizada principalmente como una banda para los sistemas de navegación.

4.2 Propagación en la Banda MF (300KHz a 3000KHz).

Esta banda cubre las frecuencias comprendidas dentro del rango de 300 KHz a 3 MHz, una de las características más sobresalientes de esta banda es la gran facilidad de propagación de las ondas de tierra conocidas como “*groundwave*”. Es de gran interés y objeto de estudio el fenómeno que experimentan los electrones al moverse en la ionósfera bajo la influencia del campo magnético de la tierra lo cual da como resultado ruido, también presenta una gran interferencia debida a la atmósfera [15].

Cabe mencionar, que durante el día la absorción de la ionósfera es mayor para esta banda, lo que nos indica claramente que es más factible su utilización por las noches; mientras que en las noches, la propagación por las ondas de cielo (*skywave*) a través de la capa D de la ionósfera, es posible utilizando la banda de MF. La interferencia puede ser constructiva o destructiva

dependiendo de la fase de las ondas incidentes y las variaciones en el tiempo debidas a la altura de la capa D, que en algunos periodos se hace más evidente que en otros y esto provoca que varíe la intensidad de la señal.

El rango comprendido por MF fue considerado en su tiempo como el rango de más facilidad de uso para las radio comunicaciones entre otras cosas debido a que tiene una longitud de onda por debajo de 200m lo cual facilita la experimentación y el uso del radio para los radio aficionados. Entre sus principales usos están la navegación, comunicación marítima, y radiodifusión en AM.

4.3 Propagación en la Banda HF (3MHz-30MHz).

Las ondas propagadas en esta banda de frecuencias son objeto de la reflexión en la ionósfera, dentro de esta capa de la atmósfera las transmisiones se caracterizan por tener atenuaciones muy pequeñas lo cual permite poder realizar comunicaciones entre estaciones que no tengan línea de vista, sin embargo esta utilidad de HF está siendo fuertemente desplazada por el desarrollo y utilización de satélites.

En ésta banda se encuentra ruido de la atmósfera. La propagación también es afectada por la densidad del flujo solar, además las propiedades de propagación varían respecto a la hora del día, a la estación del año y a la frecuencia utilizada [12].

Entre los principales usos de esta banda, están las aplicaciones de banda angosta correspondientes a anchos de banda de información por debajo de 3 KHz. La ionósfera es víctima de la radiación tanto cósmica como solar que actúa sobre la atmósfera y que a su vez disocia electrones libres.

Una vez alcanzado el horizonte óptico las señales se refractan en la ionósfera y alcanzan nuevamente la superficie a distancias considerables. La distancia de salto depende de la frecuencia y de propiedades de la ionósfera, que inclusive durante la noche posee características muy favorables. En cambio las señales de VHF y superiores alcanzan el horizonte óptico y se pierden en el espacio [13].

Se denomina *FMU* a la Frecuencia Máxima Utilizable que se refleja en la alta atmósfera para regresar a la superficie a muchos kilómetros del origen, depende de la actividad solar y las manchas solares que alteran la ionósfera en forma súbita y breve o por lapsos de tiempos prolongados. La *FMU* es variable día a día y según la irradiación solar, siendo de 10 MHz como mínimo y de 65 MHz o más con máxima actividad solar. Una de las características de la actividad solar es que logra aumentar la FMU aunque puede disminuir en forma repentina [4].

La propagación en HF a través de la ionósfera esta compuesta de dos componentes: uno es el componente de onda de tierra y el segundo componente es muy variable y es la onda de cielo (*skywave*). La cobertura que se tiene cuando se transmite por la onda de cielo define una especie de salto o reflexiones que hacen que la onda pueda cubrir una mucho mayor área que las ondas de tierra, esto también implícitamente nos indica que existe una zona de

no cobertura o de silencio que puede reducirse considerablemente cambiando la frecuencia.

La geometría de la comunicación por HF muestra claramente zonas de silencio para una frecuencia fija, esta zona se ubica donde las ondas de tierra no son muy largas, y se le denomina distancia de salto de la onda de cielo desde el transmisor [6].

De acuerdo a la variación del ángulo crítico de transmisión pueden darse algunos casos: si la transmisión excede el ángulo crítico, entonces la onda propagada se escapará fuera de la región de reflexión, para valores menores que en el ángulo crítico y de acuerdo a su variación las ondas pueden ser transmitidas por ondas de cielo o por saltos de onda de tierra que serán mas o menos grande de acuerdo a la medida del ángulo de transmisión [15].

La intensidad de los campos de las ondas electromagnéticas disminuyen en el espacio libre a medida que la onda va viajando desde la antena transmisora. La energía que lleva la onda se va distribuyendo en el medio en mayor medida al aumentar el área que recorre la onda, para HF los campos de las ondas recibidas son extremadamente pequeños.

4.4 Propagación en la Banda VHF (30MHz- 300MHz).

Las ondas muy cortas ó de frecuencias muy altas como lo son las de VHF, se propagan del mismo modo que la luz; por lo que son detenidas por los

obstáculos ó reflejadas por ellos. Este modo de propagación, además de limitar la zona de cobertura, obliga a captar las ondas en el sitio más despejado de obstáculos. En este caso, la propagación de las ondas recibe el nombre de propagación en línea recta y las ondas el de ondas de espacio.

Los contactos por propagación directa conciernen a los enlaces locales, la energía suministrada por el emisor es directamente captada por una antena situada en las cercanías y llevada al receptor. En este tipo de enlaces se depende en gran medida de la antena, de la presencia de obstáculos (edificios, montañas, etc.) y en menor medida de la potencia de emisión.

Es necesario que se tomen en cuenta algunos fenómenos que intervienen en la propagación como son la absorción del suelo y el debilitamiento de la señal en el aire. En cuanto a la curvatura de la tierra, ésta limita también el alcance en la medida en que las ondas no siguen este arco de manera fiel.

Las características de la propagación directa ilustran claramente la necesidad de disponer de una antena, no solamente colocada a una buena altura, sino también despejada, para evitar en lo posible los obstáculos eventuales para la propagación. Un obstáculo elevado y más cercano puede comprometer toda recepción. Lo anterior explica la existencia de los repetidores. A veces, reflexiones en obstáculos despejados pueden permitir una recepción correcta en regiones en las que la radiación directa está interceptada.

Cabe recordar que, la propagación en esta banda de frecuencias presenta algunas reflexiones en la ionósfera para los rangos bajos de frecuencia dentro de VHF, por lo que, la propagación es básicamente mediante Línea de Vista. Se presenta también dispersión debida a la inversión de la temperatura y el ruido cósmico.

La propagación en la parte inferior de esta banda es posible por la refracción en la atmósfera, sin embargo las reflexiones en la ionósfera son considerables para frecuencias superiores a 50 o 60 MHz, particularmente por debajo de 150 MHz [14].

Dentro de las frecuencias de VHF existen tres bandas para uso de radioaficionados, que son las siguientes: [13]

- Banda de 6 metros: de 50 a 54 MHz.
- Banda de 2 metros: de 144 a 148 MHz.
- Banda de 1, 25 metros: de 220 a 225 MHz.

La característica distintiva de las ondas de radio de VHF, UHF y SHF (a partir de los 30 MHz) es su corto alcance sobre la superficie terrestre. Se limita a decenas de kilómetros para comunicaciones directas punto a punto entre estaciones terrenas. Cuando atraviesan la atmósfera no se reflejan en las diferentes capas, las atraviesan totalmente y se pierden en el espacio exterior. El límite es el horizonte óptico. La televisión y la radio en frecuencia modulada se transmiten en VHF, con alcance local solamente.

Para lograr establecer comunicación entre puntos situados a miles de kilómetros se utilizan satélites artificiales que reflejan, amplifican y en algunos

casos procesan la señal que llega en una línea recta y retorna hacia la superficie. En ciertas condiciones se pueden aprovechar las características de refracción de la atmósfera y se logran distancias considerables durante períodos variables de tiempo, que incluso pueden permanecer durante días. La capa de la atmósfera que tiene mayor influencia sobre las frecuencias de VHF y superiores es la tropósfera, gobernada por los cambios de clima. Las condiciones de propagación de VHF, se pueden predecir como veremos en el capítulo 5 utilizando modelos de propagación adecuados al medio ambiente de interés.

4.4.1 Refracción Troposférica.

Como su nombre lo indica esta refracción se lleva a cabo en la tropósfera, este fenómeno hace posible que las ondas de radio sigan una especie de curvatura hacia la tierra, superando el horizonte óptico. Existen dos tipos de refracciones: la refracción de superficie y la súperrefracción. [14]

4.4.2 Refracción de superficie.

Este fenómeno afecta de manera directa a las ondas de superficie. Al modo de propagación basado en la refracción de superficie se le conoce como

propagación por ondas de superficie, en este tipo de propagación las señales de VHF se desplazan en línea recta en todas direcciones incluso hacia el espacio exterior donde ya no se pueden seguir propagando y se pierden. Para comunicaciones en sobre la superficie de la Tierra, el alcance teórico de la señal se limita a la línea de vista u horizonte óptico. La superficie de la tierra absorbe parte de las señales y esto ocasiona pérdidas en la propagación de la señal. [14]

Con la ecuación 4.1 se puede hacer una estimación del radio de alcance de la señal: [14]

$$D = 4,124 \sqrt{H}$$

D=Distancia al horizonte (kilometros)
H=altura antena (metros)

Ecuación 4.1

“Para entender mejor este concepto podemos considerar el siguiente ejemplo práctico, para una estación "A" que posee su antena a una altura H de 20 metros el radio de alcance D será de 18 km. Otra estación "B" que posee una altura de H' 12 metros, tendrá un radio de alcance D' de 14,2 km”.¹

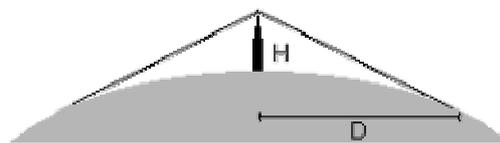


Figura 4.1. Radio de alcance de una señal. [14]

¹ Selva, op. cit.

Para poder establecer un enlace de comunicación entre dos puntos se debe de mantener una distancia de separación entre ellos que no exceda el radio de alcance de cada una de las. Este radio de alcance varia en base a las condiciones climáticas y atmosféricas, y puede aumentar si las condiciones de refracción son adecuadas. [14]

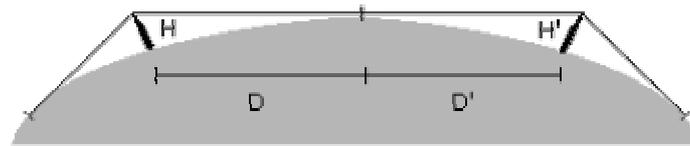


Figura 4.2. Enlace de dos estaciones de radio. [14]

4.4.3 Superrefracción.

Una vez superado el horizonte óptico, las señales de VHF se pierden en el espacio, y en otros casos pueden describir una curva descendiente mientras se desplazan. La distancia que puede cubrir la señal es de aproximadamente 1200 Km y la atenuación es prácticamente nula. [14]

Entonces, la prolongación del camino en cientos de kilómetros por refracción en la tropósfera se produce cuando las señales son dobladas en su trayectoria y vuelven a la superficie de la tierra. En frecuencias de VHF se puede dar gracias a diferencias en el índice de refracción de la tropósfera, generado por las variaciones climáticas propias de esta región. [14]

La distancia máxima que se puede llegar a cubrir depende de la altura y de la región atmosférica común a ambas estaciones de radio. El índice de refracción varía con respecto a los cambios de clima, que corresponden a la

baja atmósfera. La altura de antena es la condición básica para lograr cubrir una larga distancia.

Cuando el índice de refracción aumenta, las ondas de radio incidentes se doblan y llegan nuevamente a la tierra, si el área de refracción abarca un área extensa, mayor será la distancia que se puede cubrir y se puede llegar hasta los 1500 Km.

Esto es provocado debido a la diferencia de temperatura del aire con la altura y una caída abrupta de humedad, y se conoce como inversión de temperatura. Entre los principales usos de este rango de frecuencias están las comunicaciones móviles, televisión, radiodifusión en FM, control de tráfico aéreo, radio navegación, radiocomunicaciones de dos vías.

4.5 Propagación en la Banda UHF (300 MHz – 3000 MHz).

Las frecuencias de esta banda son usadas comúnmente en comunicaciones vía satélite. Es necesario para estas comunicaciones tener línea de vista. En los sistemas satelitales la propagación es a través de la ionósfera y la polarización de la señal que puede cambiar de acuerdo al efecto combinado del campo magnético de la tierra y la concentración de iones libres.

Cabe mencionar que, las frecuencias que abarca esta banda así como las de VHF son demasiado altas para la propagación ionosférica, por lo que la propagación tiene lugar vía directa o por componentes de las ondas reflejadas de tierra de las ondas de espacio. En estas bandas las antenas son relativamente pequeñas en tamaño físico, de unos cuantos centímetros.

Por lo tanto, el principal uso de estas frecuencias son para televisión, teléfonos celulares, radares, enlaces de microondas, comunicaciones satelitales y en la actualidad con gran auge los sistemas de comunicaciones personales.

Es importante resaltar la importancia del estudio de la propagación de la radio frecuencia en este rango de frecuencias debido a sus aplicaciones, como lo son las comunicaciones personales y la telefonía celular que actualmente esta creciendo aceleradamente.

Si se considera que la mayoría de los sistemas de radio celular opera en áreas urbanas donde no hay línea de vista directa entre el transmisor y receptor, es entonces cuando la presencia de construcciones de altura considerable provoca grandes pérdidas por difracción, que es causada por las múltiples reflexiones de la señal en los diversos objetos u obstáculos a lo largo de su recorrido.

Los modelos de propagación toman como base los mecanismos de propagación mencionados anteriormente y también consideran el tipo de ambiente a analizar, para el caso de la telefonía celular en la banda de UHF como son los estándares GSM en el rango de 800-900 Mhz, AMPS entre 825-

894 Mhz y PCS, se consideran modelos de propagación para ambientes urbanos como por ejemplo el modelo Okumura-Hata y el Walfisch-Ikegami, los cuales son apropiados para ambientes de tipo urbano y para este rango de frecuencias.

4.6 Propagación en la Banda EHF (30- 300GHz).

Usualmente se describen denominándoles ondas milimétricas. En comparación con las bajas frecuencias, tienen anchos de banda mucho mayores. La propagación en línea de vista, es la que predomina en esta parte del espectro y es posible también la interferencia por las ondas reflejadas de tierra, pero por lo general se considera insignificante este tipo de interferencia, cuando la tierra es muy lisa o cuando una superficie de agua esta presente en el medio de propagación lo que hace que las ondas reflejadas de tierra jueguen un papel importante.

En la banda de EHF los efectos más importantes que se deben de tomar en cuenta son: la dispersión por precipitaciones ya sea de lluvia como de nieve, y a ciertas frecuencias la absorción de la niebla, vapor de agua y otros gases atmosféricos. De hecho, estudiando a profundidad estos efectos se ha descubierto que la absorción a ciertas frecuencias y a ciertas condiciones aumenta en gran medida como por ejemplo tenemos el vapor de agua a 22 GHz presenta una línea de absorción muy fuerte y la absorción del oxígeno su punto máximo lo encontramos en la frecuencia de 60 GHz [15].

La propagación de las ondas es atenuada por la absorción de la atmósfera especialmente cuando hablamos de las frecuencias de 10 GHz. Hay dos bandas primarias de absorción, una es por la resonancia del vapor de agua lo cual aparece en la línea de 21 GHz. La segunda mayor banda de absorción esta centrada en 60 GHz y es debida a la resonancia de las moléculas de oxígeno [12].

Algunas de las aplicaciones de las ondas milimétricas son sistemas de comunicación seguros, comunicación entre satélites, para radares, se utiliza en comunicaciones de redes locales.